



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ANALISIS GANGGUAN *BACK FLASHOVER* PADA ISOLATOR 150 KV AKIBAT SAMBARAN PETIR DI GARDU INDUK GARUDA SAKTI KOTA PEKANBARU

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



UIN SUSKA RIAU

Oleh:

NANDA IRWANTO

11455101666

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU

PEKANBARU

2021



LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS GANGGUAN *BACK FLASHOVER* PADA ISOLATOR 150 KV AKIBAT SAMBARAN PETIR DI GARDU INDUK GARUDA SAKTI KOTA PEKANBARU

TUGAS AKHIR

Oleh :

NANDA IRWANTO
11455101666

Telah Diperiksa dan Disetujui Sebagai Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik
Elektro di Pekanbaru, Pada Tanggal 23 Juni 2021

Pembimbing

Novi Gusnita, ST., MT
NIP. 19770803 2011 2 002

UIN SUSKA RIAU

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS GANGGUAN BACK FLASHOVER PADA ISOLATOR 150 KV AKIBAT SAMBARAN PETIR DI GANDU INDUK GARUDA SAKTI KOTA PEKANBARU

TUGAS AKHIR

Oleh :

NANDA IRWANTO

11455101666

Telah Dipertahankan Didepan Sidang Dewan Penguji

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik


Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Di Pekanbaru, Pada Tanggal 23 Juni 2021

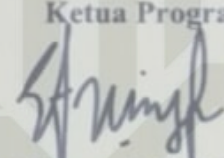
Pekanbaru, 23 Juni 2021

Mengesahkan

Dekan


Dr. Ahmad Darmawi., M.Ag
NIP. 19660604 199203 1 004

Ketua Program Studi


signed by Ewi
Ismaredah
Tanggal:
2021.07.09
Ewi Ismaredah, S.Kom, M.Kom
NIP. 19750922 200912 2 002

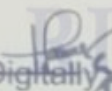
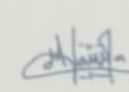
DEWAN PENGUJI :

Ketua : Dr. Harris Simaremare, ST., MT

Pembimbing : Novi Gusnita, ST., MT

Penguji : Dr. Liliana, ST., M.Eng

Penguji : Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc


Harris Simaremare
2021-07-09
09:47:57.00
Digitally
signed
by Liliana
Tanggal:
2021.07.
05
11:02:23
WIB

Digitally signed by
Marhama Jelita
Date: 2021.07.07
12:05:31 +07'00'

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis, Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan Sebagian atau seluruh tugas akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjam Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak dapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar Pustaka.

Pekanbaru, 23 Juni 2021

Yang membuat pernyataan,

NANDA IRWANTO
NIM. 11455101666

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Milik UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Karena sesungguhnya bersama setiap kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya
Bersama setiap kesulitan ada kemudahan”*

(Q.S Al Insyirah: 5-6)

*“Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan
sungguh-sungguh (urusan) yang lain dan hanya kepada Robbmulah hendaknya
kamu berharap”*

(Q.S Al Insyirah: 7-8)

Alhamdulillahirobbil’alamin....

Alhamdulillah puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, yang selalu memberikan limpah rahmat dan karunia-Nya. Shalawat serta salam kepada baginda nabi besar Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman jahiliyah hingga zaman islamiah.

*“Untuk Ibunda Raimiati dan ayahanda terhormat Masdi, Karya ini kupersembahkan untuk
kalian tercinta”*

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk orang tua saya yang telah membesarkan dan memberikan saya kesempatan untuk bisa menjadi seorang anak yang mandiri dan terdidik dengan kerja keras dan do’a-do’a yang selalu ibu dan ayah panjatkan didalam sujudmu demi masa depan anak-anakmu. Semoga dengan menyelesaikan masa belajar ini saya berharap bisa menjadi kebanggaan untuk keluarga.

~Nanda Irwanto~

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

ANALISIS GANGGUAN *BACK-FLASHOVER* PADA ISOLATOR 150 KV AKIBAT SAMBARAN PETIR DI GARDU INDUK GARUDA SAKTI KOTA PEKANBARU – RIAU

NANDA IRWANTO

11455101666

Program Studi Teknik elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universtas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Gangguan *black-flashover* merupakan fenomena gangguan yang terjadi pada saluran udara tegangan tinggi yang diakibatkan oleh sambaran petir langsung (*direct stroke*) pada kawat tanah dan tower transmisi. Dari hasil yang ditemukan, terdapat 29 kali gangguan *flashover* pada isolator yang disebabkan oleh petir. Untuk menganalisis fenomena gangguan *black-flashover* sangat sulit dilakukan dengan metode pengukuran langsung, oleh karena itu dilakukan analisis melalui simulasi dengan memodelkan parameter-parameter pada saluran transmisi yang diantaranya model menara, kawat tanah, kawat fasa, isolator saluran, dan sistem pentanahan yang berdasarkan pemodelan IEC *Working Group*. Pada penelitian ini parameter-parameter diatas disimulasikan dengan *software* EMTP/ATP dan menggunakan model menara *Constant Peremeter Distributed Line* (CPDL) direkomendasikan di Jepang untuk penelitian surja petir. Pada penelitian ini, arus petir minimum yang menyebabkan gangguan *black-flashover* menggunakan standar IEC dan CIGRE pada fasa A sebesar 21 kA, fasa B 28 kA, dan fasa C 57 kA. Untuk jumlah sambaran yang dapat mengakibatkan gangguan *black-flashover* pada fasa A berjumlah 24,22 sambaran per 100 km/tahun, fasa B sebanyak 18,67 sambaran per 100 km/tahun, dan fasa C sebanyak 5,61 sambaran per 100 km/tahun.

Kata Kunci: *Black-flashover*, EMTP/ATP DRAW, Gangguan, *Software*,

UIN SUSKA RIAU



ANALYSIS OF BACK-FLASHOVER DISORDERS ON 150 KV ISOLATORS DUE TO LIGHTNING STRIPS AT SUBSTATIONS GARUDA SAKTI PEKANBARU CITY

NANDA IRWANTO

11455101666

Electrical Engineering Study Program

Faculty Of Science and Technology

State Islamic University Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

Black-flashover disturbance is a disturbance phenomenon that occurs in high-voltage overhead lines caused by direct lightning strikes (direct strokes) on ground wires and transmission towers. From the results found, there were 29 times of flashover disturbances on the insulator caused by lightning. To analyze the phenomenon of black-flashover interference is very difficult to do with the direct measurement method, therefore analysis is carried out through simulation by modeling the parameters on the transmission line which include tower models, ground wires, phase wires, line isolators, and grounding systems based on modeling IEC Working Group. In this study, the above parameters are simulated with EMTP/ATP software and using the Constant Parameter Distributed Line (CPDL) tower model is recommended in Japan for lightning surge research. In this study, the minimum lightning current that causes black-flashover interference using the IEC and CIGRE standards in phase A is 21 kA, phase B is 28 kA, and phase C is 57 kA. The number of strikes that can cause black-flashover interference in phase A is 24,22 strikes per 100 km/year, phase B is 18,67 strikes per 100 km/year, and phase C is 5,61 strikes per 100 km/year.

Keywords: *Black-flashover, EMTP/ATP DRAW, Disorders, Software,*

UIN SUSKA RIAU

2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



KATA PENGANTAR



Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakAtuh.

Alhamdulillah, puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya berupa kesehatan, kesempatan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Shalawat beserta salam tak lupa pula penulis sampaikan kepada junjungan kita yakni Nabi Besar Muhammad SAW yang merupakan teladan baik yang patut dicontoh bagi seluruh umat manusia di muka bumi ini agar dapat selamat di dunia dan di akhirat.

Pada Laporan Tugas Akhir yang berjudul ***"Analisis Gangguan Back Flashover Pada Isolator 150 Kv Akibat Sambaran Petir Di Gardu Induk Garuda Sakti Kota Pekanbaru – Riau"*** ini sesungguhnya banyak terdapat kendala saat ingin membuatnya, mulai dari topik yang susah ditentukan hingga kendala waktu dalam pengerjaan.

Dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis dibantu oleh berbagai pihak yang terus menyemangati dan memberi masukan-masukan yang sangat membantu penulis. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H.Khairunnas, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif KAsim Riau.
2. Bapak Dr. Ahmad Darmawi, M.Ag, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom, M.Kom, selaku Pembimbing Akademik dan Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Ibu Novi Gusnita, S.T, M.T, selaku pembimbing tugas akhir jurusan, yang senantiasa dalam membimbing serta memberikan bantuan dalam mengumpulkan data, memberikan kelancaran serta dukungan motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Harris Simaremare, ST., MT., selaku ketua sidang Tugas Akhir.
6. Ibu Dr. Liliana S.T., M.Eng selaku penguji 1 yang banyak sekali memberikan saran dalam pengerjaan Tugas Akhir agar menjadi lebih baik.



7. Ibu Marhama Jelita, S.Pd M.Sc selaku penguji 2 yang banyak sekali memberikan saran dalam pengerjaan Tugas Akhir agar menjadi lebih baik.
8. Bapak Anton, S.T, selaku pegawai PLN GI Garuda Sakti Pekanbaru sekaligus pembimbing Tugas Akhir Lapangan yang telah memberikan arahan dan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro yang telah memberikan pengetahuan kecerdasan emosional, kecerdasan spiritual, dan kecerdasan intelektual kepada penulis.
10. Kedua Orang Tua penulis, Abah (Masdi) dan Ibu (Raimiati), yang selalu memberikan kasih sayang, semangat, pengorbanan, dan doa tulus yang tidak ternilai yang akan selalu penulis butuhkan kapanpun dan dimanapun.
11. Kepada saudara kandung, Ramadhan, dan Ririn Duwi Febrianti, yang tiada henti memberikan dukungan, motivasi, kekuatan dan doa yang tulus kepada penulis.
12. Kepada seluruh keluarga, yang tiada henti memberikan dukungan, motivasi, kekuatan dan doa yang tulus kepada penulis.
13. Terimakasih juga kepada Deantika Prawita Putri, S.Pd dan Keluarga besarnya yang telah memberikan dukungan, motivasi dan doa kepada penulis.
14. Kepada teman-teman Ikatan Pemuda Desa Sekara yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasinya kepada penulis, sehingga penulis dapat mengerjakan Tugas Akhir ini.
15. Juga terimakasih kepada teman-teman HP2MKK-Pekanbaru yang telah memberikan dukungannya
16. Untuk teman-teman seperjuangan Kelas A, B, C, dan D (angkatan 2014) yang tidak bisa penulis sebutkan nama satu persatu yang selalu mendukung dan memberikan semangat dalam suka maupun duka.
17. Kepada teman-teman Serigala Terakhir yang telah memberikan dukungan dan motivasinya.
18. Kepada bapak kos Erwendi yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
19. Kepada teman-teman Kos Erwendi yang telah menjadi sahabat terbaik dan berjuang bersama dalam suka dan duka.
20. Kepada sahabat yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu persatu yang memberikan dukungan, semangat dan nasehat kepada penulis.



21. Semua pihak yang telah terlibat baik langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini tidak lepas dari kekurangan dan kesalahan sebab kesempurnaan hanya milik Allah dan manusia adalah tempatnya salah dan lupa. Oleh sebab itu, penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan pada penulisan laporan selanjutnya. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Aamiin YRA.

Wassalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakAtuh.

Pekanbaru, 13 Juni 2021
Penulis

Nanda Irwanto

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR RUMUS.....	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-3
1.3 Batasan Masalah	I-3
1.4 Tujuan Penelitian	I-3
1.5 Manfaat Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Tinjauan Pustaka.....	II-1
2.2 Petir.....	II-2
2.2.1 Proses terjadinya petir	II-3
2.3 Gelombang implus	II-4
2.4 Saluran Menara transmisi	II-6
2.5 Isolator	II-7
2.6 Kawat Penghantar	II-9
2.6.1 Kapasitansi dan Reaktansi Kapasitif	II-9

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



2.7	Konduktor Berkas (<i>Bundled Conductors</i>)	II-11
2.7.1	Reaktansi induktif.....	II-12
2.7.2	GMR (<i>Geometric Mean Radius</i>)	II-12
2.7.3	Reaktansi kapasitif.....	II-12
2.8	Saluran Ganda Tiga Fasa	II-12
2.8.2	Reaktansi Kapasitif Saluran Ganda Fasa-Tiga	II-13
2.9	Pengentanahan Menara Transmisi	II-13
2.9.1	Tahanan Kaki Menara	II-13
2.9.2	Sistem Pengentanahan <i>Driven Rod</i>	II-14
2.10	Lompatan Api Balik (<i>Back-Flashover</i>)	II-14
2.11	Jumlah Sambaran Kilat Ke Bumi, Lompatan Api Dan Busur Api	II-15
2.12	Software ATP (<i>Alternative Transient Program</i>).....	II-17
BAB III METODE PENELITIAN.....		III-1
3.1	Jenis Penelitian.....	III-1
3.2	Lokasi Penelitian.....	III-1
3.3	Prosedur Penelitian	III-1
3.4	Studi Literatures.....	III-3
3.5	Identifikasi Masalah.....	III-3
3.6	Pengumpulan Data Sekunder.....	III-3
3.6.1	<i>Single line diagram</i>	III-3
3.6.2	Data menara transmisi	III-5
3.6.3	Data spesifikasi isolator.....	III-5
3.6.4	Sistem pentanahan	III-6
3.6.5	Data kawat konduktor.....	III-6
3.6.6	Data panjang saluran.	III-8
3.7	Programing Simulasi Menggunakan Software EMTP/ATP.....	III-8
3.7.1	Memodelkan Parameter Saluran Transmisi 150 Kv dan Memodelkan Sumber Arus Surja Petir Dengan EMTP/ATP.....	III-10
3.7.2	Memasukkan Nilai Parameter Saluran Transmisi	III-10
3.7.3	Memasukkan Nilai Parameter Arus Surja Petir.....	III-10
3.7.4	Running Program Simulasi.....	III-10



3.7.4	Apakah Terjadi Black Flashover	III-10
3.7.5	Grafik gelombang implus petir.....	III-10
3.12	Menggabungkan Grafik V-t Lompatan Balik (<i>back flashover</i>).....	III-11
3.14	Analisis Fasa Mana Saja Yang Terjadi <i>Black Flashover</i> , Berapa Besar Tegangan Dan Waktu Terjadinya <i>Black-Flashover</i>	III-11
3.15	Menghitung probabilitas dan jumlah sambaran yang dapat mengakibatkan terjadinya <i>black flashover</i>	III-11
3.15.1	Menghitung nilai probabilitas distribusi harga puncak arus petir	III-11
3.15.2	Menghitung probabilitas yang mengakibatkan gangguan <i>back-flashover</i>	III-11
3.15.3	Menghitung jumlah sambaran yang dapat mengakibatkan <i>back-flashover</i> pada setiap fasa menggunakan persamaan:	III-11
3.16	Analisis dan Hasil	III-12
BAB IV HASIL DAN ANALISIS.....		IV-1
4.1	Data UPT P3BS PT. PLN Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru Riau	IV-1
4.2	Pemodelan Parameter Saluran	IV-1
4.2.1	Pemodelan menara.....	IV-1
4.2.2	Pemodelan isolator	IV-3
4.2.3	Pemodelan kawat fasa	IV-3
4.2.4	Pemodelan kawat tanah	IV-4
4.2.5	Pemodelan sistem pentanahan	IV-5
4.2.5	Pemodelan surja petir	IV-6
4.3	Grafik Tegangan Terhadap Waktu <i>Back Flashover</i> Isolator	IV-7
4.4	Hasil Simulasi	IV-8
4.4.1	<i>Back-Flashover</i> Dengan Waktu Muka Dan Waktu Ekor Menggunakan Standar IEC $T_f \times T_t = 1,2 \times 50 \mu s$	IV-9
4.4.2	<i>Black- flashover</i> dengan waktu muka dan waktu ekor menggunakan standar CIGRE $T_f \times T_t = 3 \times 77,5 \mu s$	IV-25
4.5	Jumlah sambaran yang menyebabkan gangguan <i>back-flashover</i>	IV-41
4.5.1	Arus surja petir minimum yang dapat menyebabkan gangguan <i>back-flashover</i> pada Fasa A, fasa B, dan fasa C	IV-41
4.5.2	Nilai probabilitas distribusi harga puncak arus petir dengan menggunakan persamaan empiris menurut enderson	IV-42



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

4.5.3	Probabilitas terjadinya gangguan <i>back-flashover</i>	IV-43
4.5.4	Jumlah sambaran petir yang dapat menyebabkan gangguan <i>back-flashover</i> sambaran per 100 km/tahun.....	IV-43
4.6	Analisis Hasil	IV-45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		V-1
5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA		xix
LAMPIRAN A		1
LAMPIRAN B.....		1
LAMPIRAN C		3
LAMPIRAN D		9



DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar

2.1	Persebaran muatan positif dan negatif di dalam awan	II-3
2.2	parameter tegangan uji implus petir	II-4
2.3	Parameter tegangan uji implus pensaklaran (<i>switching</i>)	II-5
2.4	menara jenis <i>cone</i>	II-7
2.5	menara jenis silinder	II-7
2.6	pehampang isolator piring	II-8
2.7	Isolator gantung (<i>suspension</i>)	II-9
2.8	Renteng Isolator	II-9
2.10	Saluran fasa tunggal dengan dua penghantar paralel	II-10
2.11	Titik netral kapasitansi	II-11
2.12	rangkaian fasa tiga	II-11
2.13	Konduktor berkas fasa 3	II-12
2.14	dua buah subkonduktor	II-12
2.15	Susunan penghantar suatu saluran ganda fasa tiga	II-13
2.16	Driven Rod empat batang konduktor	II-14
2.17	Icon software ATP Draw (Alternative Transient Program)	II-18
3.1	Line Diagram UPT PKU Gardu Induk Garuda Sakti	III-4
4.1	Pemodelan menara	IV-1
4.2	Pemodelan isolator	IV-3
4.3	Pemodelan kawat fasa	IV-3
4.4	Pemodelan kawat tanah	IV-4
4.5	Pemodelan sistem pentanahan	IV-5
4.6	Pemodelan surja petir	IV-6
4.79	Grafik titik potong fasa A	IV-18
4.80	Grafik titik potong fasa B	IV-19

UIN SUSKA RIAU



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 arus puncak kilat dan seringnya terjadi [12].....	II-16
2.2 Muka gelombang kilat dan seringnya terjadi [3].....	II-17
3.1 Data Menara P3BS Unit Gi Garuda Sakti Pekanbaru	III-5
3.2 Data Isolator P3BS Unit Gi Garuda Sakti Pekanbaru	III-6
3.3 Spesifikasi kawat fasa.....	III-6
3.4 Spesifikasi kawat tanah	III-7
4.1 Nilai parameter input menara	IV-1
4. 2 Nilai parameter isolator	IV-3
4. 3 Nilai parameter input kawat fasa.....	IV-3
4. 4 Nilai parameter input kawat tanah.....	IV-5
4. 5 Nilai parameter input sistem pentanahan.....	IV-5
4. 6 Nilai parameter arus puncak kilat petir.....	IV-6
4. 7 Amplitudo Arus Petir Rentang 10 kA Hingga 160 kA Pada Fasa A, Fasa B, Dan Fasa C	IV-20
4. 8 Amplitudo Arus Petir Rentang 20 kA Hingga 30 kA Pada Fasa A.....	IV-21
4. 9 Amplitudo Arus Petir Rentang 20 kA Hingga 30 kA Pada Fasa B.....	IV-23
4. 10 Amplitudo Arus Petir Rentang 50 kA Hingga 60 kA Pada Fasa C.....	IV-24
4. 11 Amplitudo Arus Petir rentang 10 kA hingga 160 kA pada fasa A, fasa B, dan fasa C	IV-36
4. 12 Amplitudo Arus Petir Rentang 20 kA hingga 30 kA Dengan Tegangan <i>Black-Flashover</i> Pada Pada Fasa A	IV-37
4. 13 Amplitudo Arus Petir rentang 20 kA hingga 30 kA pada Fasa B	IV-38
4. 14 Amplitudo Arus Petir rentang 50 kA hingga 60 kA pada Fasa C	IV-40
4. 15 Arus surja minimum yang dapat menyebabkan <i>back-flashover</i>	IV-41
4. 16 Hasil Perhitungan probabilitas yang dapat menimbulkan gangguan <i>back-flashover</i>	IV-43
4. 17 Hasil Perhitungan Jumlah Sambaran Petir Yang Dapat Menyebabkan Gangguan <i>Back Flashover</i> (100 km/tahun)	IV-45
4. 18 Perbandingan arus surja minimum standar IEC dan CIGRE yang mengakibatkan gangguan <i>back-flashover</i> pada fasa A, fasa B, dan fasa C	IV-46



DAFTAR RUMUS

Rumus

2. Tegangan kritis isolator ($V_{50\%}$)
2. Jumlah sambaran kilat ke bumi 100km/tahun (N_t)
2. Probabilitas arus petir (P_i)
2. Menghitung Probabilitas *black-flashover* (P_{BFO})

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR SINGKATAN

Bfo = *Black-Flashover*

GI = Gardu Induk

SUTET = Saluran Udara Ekstra Tegangan Tinggi

SUTT = Saluran Udara Tegangan Tinggi

Cfo = *Critical Flashover Voltage*

kV = Kilo Volt

GMR = Geometric Mean Radius

IKL = *Iso Keraunic Level*

ATP = *Alternative Transient Program*

EMTP = *Electromagnetic Transient Program*

Vbfo = *Tegangan black-flashover*

MV = Mega Volt

KM = Kilo Meter

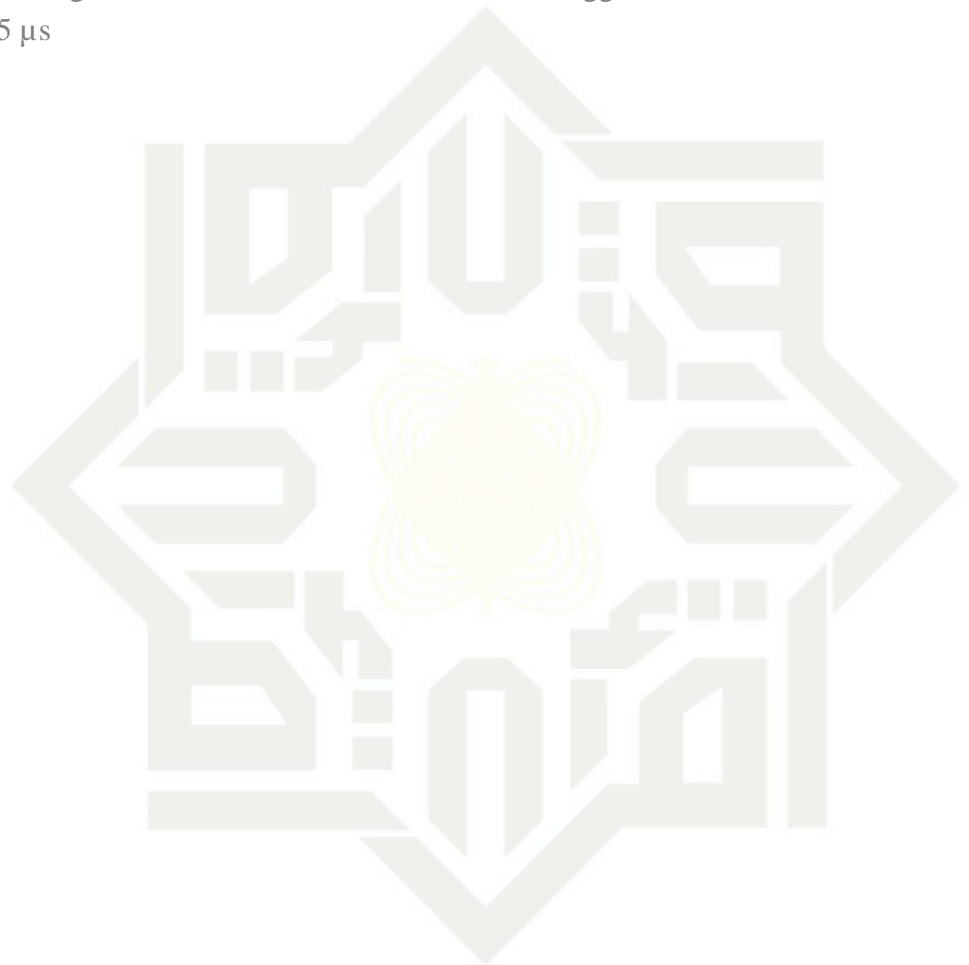
Kms = Kilo meter sirkuit



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

- A. Data Yang Diperoleh Dari UPT PLN Gi Garuda Sakti Kota Pekanbaru
- B. Rangkaian Simulasi EMTP/ATP Draw
- C. Back-Flashover Dengan Waktu Muka Dan Waktu Ekor Standar IEC $T_f \times T_t = 1,2 \times 50 \mu s$
- D. Back-Flashover Dengan Waktu Muka Dan Waktu Ekor Menggunakan Standar CIGRE $T_f \times T_t = 3 \times 77,5 \mu s$



UIN SUSKA RIAU

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Ditindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia umumnya merupakan daerah beriklim tropis yang termasuk dengan daerah yang jumlah hari petir yang cukup tinggi pada setiap tahunnya. Dengan keterbatasan data jumlah besarnya hari petir untuk setiap daerah di Indonesia, pada saat ini diasumsikan bahwa daerah-daerah yang dataran tinggi atau gunung, menara yang menjulang ditengah-tengah area bebas seperti persawahan, ladang, kebun dan lahan terbuka lainnya, kemungkinan memiliki jumlah sambaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan tempat-tempat tengah kota yang dikelilingi oleh bangunan-bangunan tinggi lainnya [1].

Salah satu Provinsi di Indonesia yang memiliki hari guruh rata-rata yang cukup tinggi adalah Provinsi Riau, karena Provinsi Riau berada di wilayah garis katulistiwa. Petir adalah suatu fenomena alam yang disebabkan karena adanya peluahan muatan elektrik di atmosfer yang memiliki arus sangat besar dan waktu yang sangat singkat sehingga sulit untuk dikendalikan. Fenomena alam ini ditandai dengan suara guruh dan kilatan cahaya yang diakibatkan oleh adanya peluahan muatan dalam jumlah besar dan cepat. Ada dua tipe umum peluahan petir yaitu: Petir yang terjadi antara awan dan permukaan tanah dan petir yang terjadi di dalam awan dan antar awan [2].

Sistem di bidang kelistrikan pastinya tidak dapat terlepas dari masalah atau gangguan yang bisa menyebabkan rusaknya alat-alat listrik, terutama pada sistem penyaluran transmisi karena hampir sebagian besar sistem terdiri dari penyaluran. Diantara sekian banyak gangguan yang terjadi, penyebab terbesar meningkatnya tegangan pada saluran transmisi adalah gangguan sambaran petir. Ada tiga jenis gangguan petir yang sering terjadi pada saluran transmisi, yaitu: gangguan yang diakibat oleh sambaran petir di kawat fasa, gangguan petir pada kawat tanah atau induksi dan tower. Diantara gangguan tersebut, gangguan sambaran petir pada kawat tanah atau menara adalah yang paling sering terjadi [3].

Pada Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru, salah satu penyebab terbesar dalam meningkatnya tegangan yang terjadi di saluran transmisi adalah diakibatkan oleh petir. Sehingga menjadi penyebab rusaknya isolator saat munculnya *flashover*. *Flashover* merupakan kerusakan yang dialami oleh isolator yang terjadi karena beban tegangan listrik



pada isolator lebih tinggi dari kapasitas dan ketahanan elektriknya, sehingga menyebabkan pemanasan yang dapat merusak isolator. Dalam sistem penyaluran listrik, isolator merupakan bagian yang sangat penting, sehingga diperlukan untuk menjaga kualitasnya. Salah satu solusi dalam menjaga kualitasnya ialah dengan menguji nilai *flashover* pada isolator.

Dari definisi di atas, peneliti mencoba mengangkat masalah dari data yang ditemukan. Data ini diambil dari kinerja P3BS UPT PT.PLN s.d Mei 2020 di Gardu Induk yang berlokasi di Garuda Sakti pada bulan Oktober 2019. Dari hasil yang ditemukan, terdapat 29 kali gangguan *flashover* pada isolator yang disebabkan oleh petir, diantaranya terjadi pada bulan januari (5 kali), bulan februari (4 kali), bulan maret (4 kali), april (5 kali), mei (11 kali). Berdasarkan data di atas, gangguan yang sering terjadi terdapat pada bulan mei, yaitu 11 kali [5]. Dari jumlah gangguan petir yang terjadi, dampak kerugian yang dialami berupa piringan isolator yang terpapar dan tidak bisa digunakan lagi serta terganggunya penyaluran atau terjadinya pemadaman listrik ke wilayah yang terdampak akibat gangguan *back flashover*.

Analisis mengenai aktifitas meningkatnya tegangan secara berlebihan adalah satu hal yang penting untuk dilakukan, karena ini dibutuhkan dalam merancang isolasi pada sistem tenaga listrik. Umumnya dalam menentukan kategori isolasi berdasarkan probabilitas kejadian pada suatu peristiwa. Ketika terjadinya sambaran petir pada kawat tanah ataupun pada tiang, maka akan menjadi penyebab terjadinya peningkatan tegangan listrik di tiang menara. Sambaran petir balik pada tiang menara ke kawat fasa dapat terjadi ketika tegangan yang dihasilkan oleh isolator sama atau melebihi pada garis tegangan kritis pada isolator ($V_{50\%}$) [3].

Analisis gangguan *back-flashover* pada isolator akibat gangguan petir sangat membutuhkan perhitungan yang sangat kompleks. Sehingga sangat diperlukan alat bantu atau *software* yang bisa memudahkan proses perhitungan. Dalam penelitian ini *software* yang digunakan EMTP/ATP Draw. Dengan melakukan simulasi perangkat EMTP/ATP Draw akan didapat besarnya tegangan lebih pada isolator yang diakibatkan oleh sambaran petir pada saluran transmisi tegangan tinggi [3].

Berdasarkan permasalahan diatas judul Tugas Akhir yang diangkat penulis adalah “ANALISIS GANGGUAN *BACK FLASHOVER* PADA ISOLATOR 150 kV AKIBAT SAMBARAN PETIR. DI GARDU INDUK GARUDA SAKTI KOTA PEKANBARU”



Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter-parameter saluran transmisi apa saja yang dimodelkan pada software EMTP/ATP
2. Bagaimana mendapatkan nilai besarnya arus petir minimum yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan *back flashover* serta nilai tegangan dan waktu gangguan *back flashover*.
3. Bagaimana mengetahui fasa yang lebih dahulu terjadi gangguan *back flashover* saat terjadi sambaran petir langsung pada menara.
4. Bagaimana mengetahui probabilitas gangguan *back flashover* dan jumlah sambaran petir yang dapat menyebabkan terjadinya *back-flashover* pada isolator

Batasan Masalah

Agar pembahasan pada penelitian ini tidak keluar dari pembahasan yang dibutuhkan, maka dibuat pembatasan masalahnya, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di jaringan transmisi 150 kV pada Gardu Induk Garuda Sakti.
2. Model menara menggunakan model menara *Constant-Parameter Distributed (CPDL)*.
3. Membahas analisis untuk mendapatkan nilai tegangan saat terjadi gangguan *back flashover* pada isolator Gardu Induk Garuda Sakti di Kota Pekanbaru – Riau.
4. Software yang digunakan dalam simulasi ini adalah EMTP/ATP
5. Isolator yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolator berbahan keramik
6. Data petir yang digunakan untuk parameter simulasi menggunakan data ketentuan yang sudah ada yaitu 10 kA hingga 160 kA.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memodelkan parameter – parameter pada saluran transmisi berdasarkan IEC *Working Group*, diantaranya model menara menggunakan model menara *Constant-Parameter Distributed Line (CPDL)*, isolator saluran, kawat fasa, kawat tanah, sistem pentanahan dan surja petir.



Mengetahui besarnya arus petir minimum yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan *back flashover* serta nilai tegangan dan waktu gangguan *back flashover*.

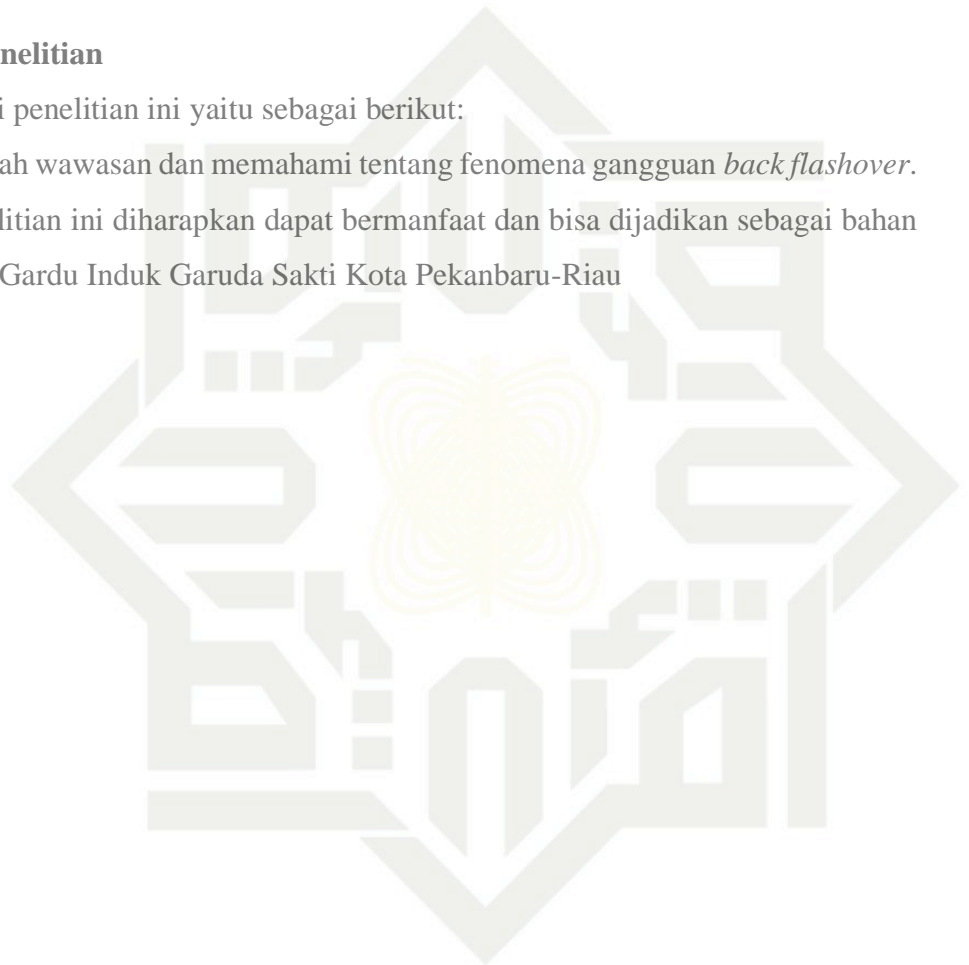
Mengetahui fasa mana yang lebih dahulu terjadi gangguan *back flashover* saat terjadi sambaran petir langsung pada menara.

Mengetahui probabilitas dan jumlah sambaran petir yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan *back flashover* pada isolator.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk menambah wawasan dan memahami tentang fenomena gangguan *back flashover*.
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan bisa dijadikan sebagai bahan acuan PT.PLN Gardu Induk Garuda Sakti Kota Pekanbaru-Riau



UIN SUSKA RIAU



- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan Pustaka

Untuk membantu dalam melakukan penelitian tugas akhir ini maka perlu dilakukan studi literatur guna untuk membantu peneliti dalam mencari landasan teori dan referensi yang berkaitan dengan penelitian. Teori serta referensi didapat dari jurnal, buku, paper dan sumber lainnya yang berhubungan dengan analisis gangguan *back-flashover* pada isolator menggunakan *software* ATP draw serta segala hal yang mendukung dalam penelitian.

Pada penelitian sebelumnya, yang berjudul Analisis korelasi kawat tanah dengan tahanan pentanahan terhadap *back flashover*. Dalam penelitian ini menggunakan metode simulasi menggunakan *software* ATP- EMTF. Berdasarkan hasil analisis korelasi kawat tanah dengan tahanan pentanahan terhadap *back flashover*, hubungan kawat tanah dengan nilai tahanan pentanahan tower adalah semakin besar arus implus petir dan nilai pada tahanan pentanahan tower maka tegangan puncak kawat fasa semakin besar. Tegangan puncak kawat fasa yang terkena *back flashover* pada implus petir 70 kA dengan tegangan kawat fasa 1,66 MV[1].

Penelitian berikutnya tentang proteksi terhadap petir dengan cara melakukan analisis terhadap sistem perlindungan petir pada SUTT 150 kV menggunakan *software* ATP. Tujuannya adalah untuk menentukan besaran tegangan yang terjadi akibat petir dan melakukan variasi peletakkan *arrester* pada tower transmisi sehingga dapat mengetahui penurunan tegangan lebih yang diakibatkan oleh petir dengan melakukan simulasi menggunakan *software* ETP. Ketika terjadi sambaran petir pada kawat tanah, maka terjadilah *flashover* dan dapat menimbulkan meningkatnya tegangan pada kawat fasa. Jika sambaran petir adalah 10 mV yang terdapat pada kawat tanah yang tidak dipasang *arrester*, maka akan menyebabkan naiknya tegangan di fasa saluran. Sehingga, untuk melakukan proteksi saluran transmisi agar tegangannya lebih rendah atau menurun adalah dengan memasang *arrester* pada setiap tiangnya [4].

Penelitian selanjutnya yaitu mengenai studi perhitungan *back flashover* di terminal isolator berjenis SUTET 275 kV. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung gangguan yang disebabkan oleh lompatan api balik (*back flashover*) dengan cara menggunakan



metode perhitungan gelombang berjalan. *Fhasa* menjadi tempat perhitungan gangguan kilat pada menara. Karena *fhasa* yang pertama kali terkena sambaran petir secara langsung”. [3]

Selanjutnya penelitian tentang *flashover*, dengan cara membandingkan pengaruh *equivalent salt deposit density (ESDD)* terhadap tegangan yang mengalami *flashover* terhadap isolasi *low density polyethylene (LDPE)*. Tujuannya adalah untuk melihat kinerja tegangan *flashover* di isolator yang telah dicemari oleh polutan buatan. Bahan dasar LDPE dipakai dalam penelitian ini. Hasilnya ialah kinerja tegangan *flashover* pada permukaan bahan isolasi LDPE dipengaruhi oleh tingkat konsentrasi polutan NaCl pada permukannya. Kesimpulannya adalah, semakin tinggi tingkat konsentrasi polutan, maka tegangan *flashover* akan semakin rendah. [6]

Penelitian terakhir mengenai analisis pertanahan menara SUTT terhadap sambaran petir yang menghasilkan *back-flashover* pada saluran transmisi 150 kV. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan pertanahan yang diakibatkan oleh sambaran petir. Metode pertanahan yang digunakan adalah *driven ground* menggunakan penambahan panjang elektroda menara dalam rangka mendapatkan nilai resistensi yang tepat. Kondisi awal nilai resistensi kaki menara adalah 2,24 Ω dengan besar karakteristik arus sambaran sebesar 20 kA, dan tegangan lengan sebesar 147,808 kV. Sedangkan dalam karakteristik sambaran 180 kA, tegangan lengan meningkat menjadi 1324,31 kV. Artinya terjadilah *back-flashover* pada arus sambaran petir sebesar 180 kA. Penambahan panjang elektroda sepanjang 20 meter, didapatkan hasil resistensi baru, yaitu sebesar 0,84 Ω . Efeknya adalah, tegangan lengan menara menurun dari 1324,31 kV menjadi 1292,25 kV dengan karakteristik arus sambaran 180 kA. Pengurangan nilai resistensi pertanahan menara dari 2,24 Ω menjadi 0,84 Ω mengakibatkan menurunnya gangguan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran dari petir [7].

Dari beberapa uraian penelitian diatas, yang membedakan penelitian ini dan penelitian sebelumnya adalah parameter pengujian arus surja petir dimulai dari 10 kA hingga 160 kA kemudian studi kasus penelitian ini diambil pada Gardu Induk Garuda Sakti kota Pekanbaru Riau.

2.2 Petir

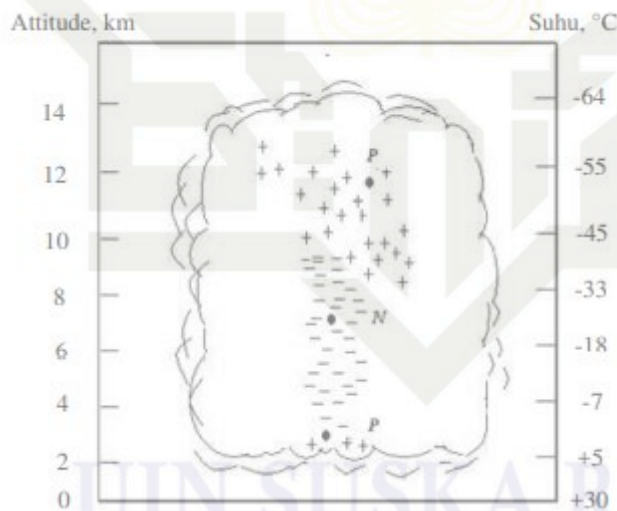
Petir merupakan peristiwa pelepasan muatan listrik di atmosfer. Dalam suatu keadaan tertentu pada lapisan atmosfer bumi terdapat gerakan angin ke atas (*updraft*) yang membawa

udara lembab. Semakin tinggi dari permukaan bumi, maka semakin rendah tekanan suhunya. Uap air mengondensasi menjadi titik air dan membentuk awan [1].

2.2.1 Proses terjadinya petir

Proses terjadinya petir, petir terjadi disebabkan angin keras dengan kecepatan 30.000-40.000 kaki bertiup ke atas menghantarkan awan lebih tinggi. Pada saat ketinggian lebih dari 5 km, partikel uap air dan partikel aerosol yang ada di awan menjadi beku membentuk kristal-kristal es dan selanjutnya turun lagi disebabkan adanya gravitasi bumi. Karena air mengalami pergerakan acak vertikal dan horizontal, maka terjadilah pemisahan muatan listrik. Tetesan air yang berada di bagian puncak awan biasanya bermuatan positif dan dibagian bawahnya bermuatan negatif [2].

Akibat adanya awan yang bermuatan akan timbul muatan induksi dalam permukaan bumi, hingga timbul medan listrik. Dikarenakan dimensi bumi dianggap rata terhadap awan, maka permukaan awan dan bumi dapat dianggap sebagai dua keeping plat kondensator. Maka dari itulah terjadi akumulasi muatan di awan dengan polaritasnya berbeda dengan permukaan bumi. Jika medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara, pelepasan muatan akan terjadi. Pada saat itulah terjadinya petir awan ke tanah [2].



Gambar 2. 1 Persebaran muatan positif dan negatif di dalam awan

2.2.2 Tahap perambatan petir

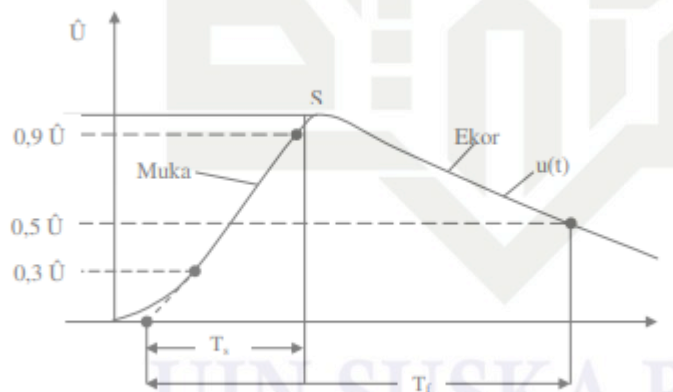
Petir awan ke tanah merupakan tegangan tembus listrik transien yang berlangsung pada selang waktu ratusan mikrodetik dan merambat sepanjang kilometer dari awan ke permukaan bumi. Petir awan ke tanah bermula pada daerah sela antara daerah yang

bermuatan positif P di dasar awan dan daerah bermuatan negatif N di puncaknya. Elektron di daerah N awan bergerak ke bawah menetralkan muatan positif di daerah P awan. Proses ini disebut dengan proses peluahan awal. Kemudian elektron merambat menuju permukaan bumi dan mengeluarkan lidah petir. Lidah petir pertama disebut pelopor awal. Arah langkah lidah petir bisa berubah-ubah, rambatan petir tidak lurus dan patah-patah. Pelopor akan terus merambat selama pusat muatan di awan mampu memberikan muatan ke ujung pelopor melebihi kuat medan udara [2].

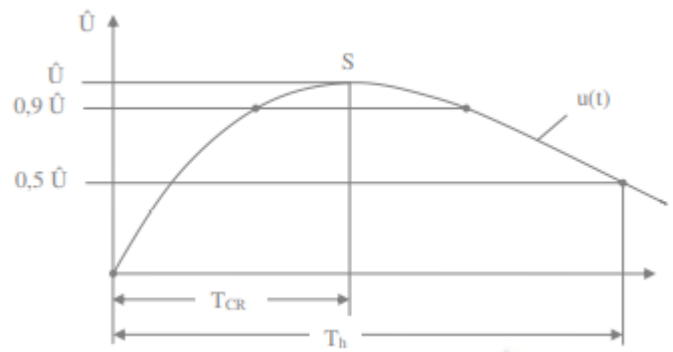
Seluruh kejadian peluahan petir disebut kilat dan dapat terjadi selama 0,5 hingga 1 detik. Satu kilat terdiri dari beberapa peluahan, di antaranya 3 atau 4 pulsa arus tinggi yang disebut sambaran. Pada petir di dalam awan, yang merupakan peluahan yang terjadi di dalam satu awan (awan cumulonimbus), tanpa kontak langsung dengan permukaan bumi. Peluahan petir jenis ini merambat antara daerah N bermuatan negatif dengan daerah P bermuatan positif di atasnya. Tipe peluahan petir yang lainnya adalah petir awan ke awan. Petir awan ke awan terjadi antara dua awan cumulonimbus yang berbeda muatan.

Selanjutnya dua tipe petir terakhir sangat jarang terjadi, dan sulit dikenal karena kedua petir ini mengacu kepada petir yang berada dalam awan. Durasi waktu perambatan petir di dalam awan lebih pendek apabila dibandingkan dengan petir awan ke awan [2]

2.3 Gelombang implus



Gambar 2. 2 parameter tegangan uji implus petir



Gambar 2. 3 Parameter tegangan uji implus pensaklaran (*switching*)

Dimana:

\hat{U} = Amplitudo arus puncak (kA)

$u(t)$ = Tegangan (kV)

$T_r = T_{cr}$ = Waktu muka gelombang (μs)

$T_s = T_h$ = Waktu ekor gelombang (μs)

S = Titik puncak

Gelombang impuls ini memiliki bentuk gelombang aperiodic diredamkan (*damped aperiodic*) seperti pada saat waktu pelepasan muatan sebuah kapasitor melewati sebuah tahanan yang induktif. Gelombang yang dibangkitkan ini mempunyai bentuk yang curam pada muka gelombang dan ekor gelombangnya mempunyai ukuran yang pendek. Definisi muka gelombang (*wave-front*) dan ekor gelombang (*wave-tail*) ditentukan standar-standar sedemikian rupa sehingga kesukaran untuk menetapkan permulaan gelombang dan puncak gelombang dapat diatasi [3].

Muka gelombang diartikan sebagai bagian dari gelombang yang dimulai pada titik nol sampai titik puncak, sedangkan sisanya disebut ekor gelombang. Tegangan impuls petir dinyatakan dengan bentuk 1,2/50 μs yang berarti tegangan impuls memiliki nilai $T_r = 1,2 \mu s \pm 30 \%$ dan $T_s = 50 \mu s \pm 20 \%$. Pada kondisi lain, untuk mengamati tegangan impuls akibat pensaklaran (*switching*) jauh lebih besar waktu mukanya dibandingkan impuls petir tidak akan lagi ditemukan kesulitan. Karena penentuan titik mula 0 yang tepat dan penentuan puncak S yang tepat dapat dipakai untuk pembakuan atau standar. Untuk pengujian dengan tegangan impuls pensaklaran (*switching*) sering dipakai.

Bentuk gelombang impuls 250/2500 μs yang diartikan nilai waktu muka sebesar $T_{cr} = 250 \mu s \pm 20 \%$, dan waktu ekornya sebesar $T_h = 2500 \mu s \pm 60 \%$. Besarnya waktu ekor



tegangan impuls pensaklaran juga diberi simbol T_d yaitu waktu dengan nilai tegangan hanya sesaat lebih besar dari 0,9 sebagai pengganti dari nilai T_h . Pada saat kondisi yang lainnya Grafik-Grafik tegangan impuls petir sering mengandung osilasi frekuensi tinggi dengan amplitudo yang tidak melebihi $0,05 \hat{U}$ pada puncak maksimumnya.

2.4 Saluran Menara transmisi

Pada suatu sistem tenaga listrik, energi listrik yang dibangkitkan dari pusat pembangkit listrik ditransmisikan ke pusat-pusat pengatur beban atau gardu induk melalui suatu saluran transmisi, saluran transmisi tersebut dapat berupa saluran bawah tanah atau saluran udara, namun pada umumnya banyak digunakan saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga udara digunakan sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda yang ada disekelilingnya dengan penyangga kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara atau tower. Antara menara listrik dan kawat penghantar disekat oleh isolator. Konstruksi menara besi baja merupakan jenis konstruksi saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT) ataupun saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET) yang paling umum digunakan di jaringan PLN, karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah perbukitan atau pegunungan dan jauh dari jalan raya, harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan penggunaan saluran bawah tanah serta pemeliharaan dan perawatan yang mudah. Suatu tower atau menara listrik harus kuat terhadap beban yang bekerja padanya, antara lain yaitu [8]:

1. Gaya berat tower dan kawat penghantar (gaya tekan).
2. Gaya tarik akibat rentangan kawat.
3. Gaya angin akibat terpaan angin pada kawat maupun badan tower.

UIN SUSKA RIAU

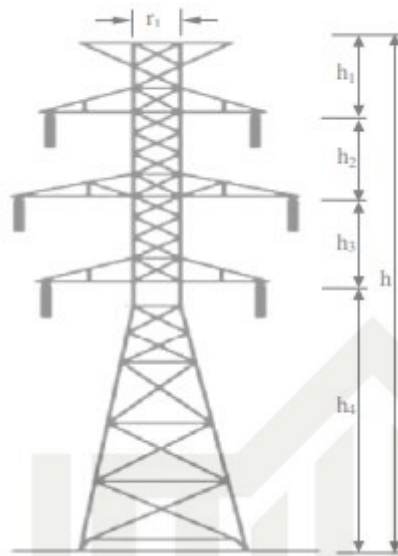
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

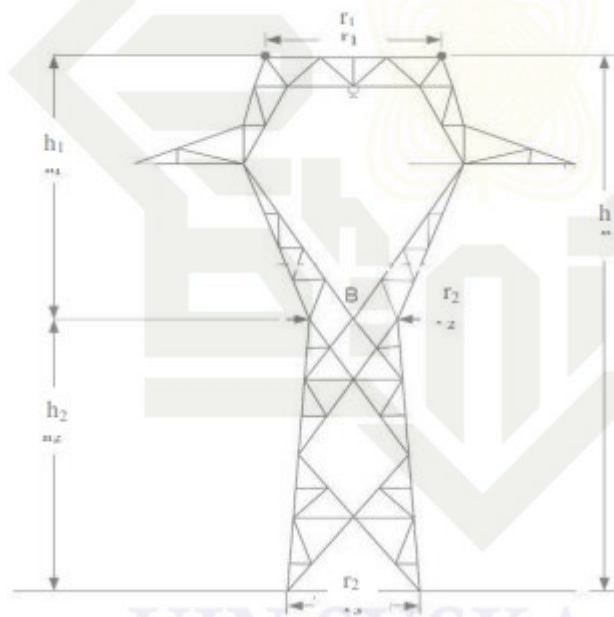
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 4 menara jenis cone



Gambar 2. 5 menara jenis silinder

2.5 Isolator

Pada transmisi saluran hantaran udara, suatu konduktor antara konduktor lain diisolir dengan udara, sedangkan konduktor dengan menara atau tiang pendukung konduktor diisolir dengan bahan isolasi padat yang disebut isolator. Hal ini bertujuan agar tidak terjadi aliran arus yang tidak semestinya ada antara satu bagian dengan bagian lainnya, sehingga bagian yang tidak bertegangan ini harus dipisahkan dari bagian-bagian yang bertegangan.

Halaman 111

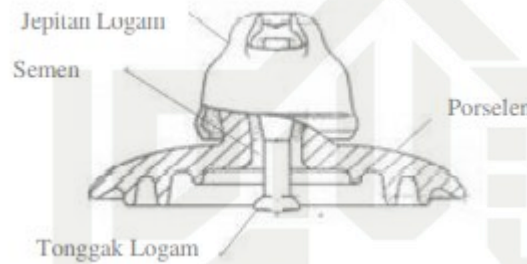
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

- Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Isolator jaringan tenaga listrik merupakan alat tempat penopang kawat penghantar pada tiang-tiang listrik atau Menara yang digunakan untuk memisahkan secara elektrik antara kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau tegangan antara kawat denyar (*flashover*) sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan pada sistem jaringan tenaga listrik.

Isolator berfungsi sebagai isolasi tegangan listrik antara kawat penghantar (konduktor) dengan tiang atau tanah. Umumnya dielektrik isolator terbuat dari bahan porselen, gelas, kertas, dan karet silikon (*silicon rubber*).



Gambar 2. 6 penampang isolator piring

Terlihat bahawa dari gambar 2.6 diatas bahwa bagian utama dari isolator terdiri dari jepitan logam, bahan dielektrik, dan tonggak logam serta semen sebagai perekat jepitan logam dan tonggak logam dengan dielektrik. Menurut lokasi pemasangan, isolator terdiri dari isolator pasangan dalam (*indoor*) dan isolator pasangan luar (*outdoor*) dan secara konstruksi isolator terdiri dari isolator pendukung dan isolator gantung (*suspension*). Isolator pendukung terdiri dari isolator pin, post, dan pin-post.

Pada umumnya isolator yang dipakai dalam saluran udara tegangan tinggi adalah jenis isolator gantung (*suspension*). Isolator gantung (*suspension*) disebut juga isolator piring. Isolator ini terdiri dari badan porselin yang diapit oleh elektroda-elektroda. Maka isolator memiliki sejumlah kapasitansi. Pada gandengan isolator terpasang *spark gap* dalam kedua ujung isolator dipasang sedemikian rupa seperti terlihat pada gambar 2.7 Sehingga busur api tidak dapat mengenai isolator saat lompatan api terjadi. Karena itu isolator saluran dimodelkan dengan suatu kapasitansi yang terpasang paralel dengan saklar kerjanya terkontrol oleh tegangan [6].

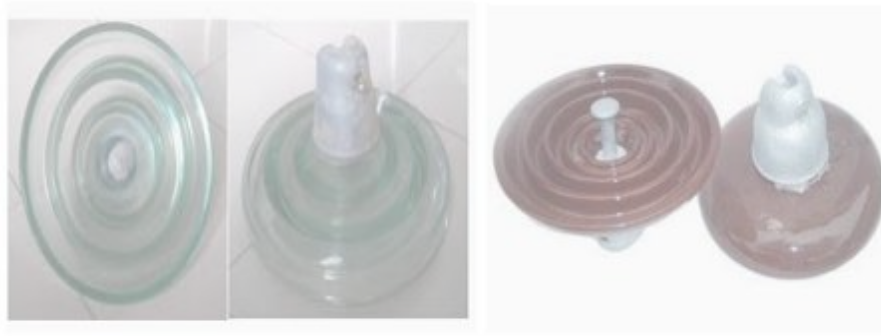
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

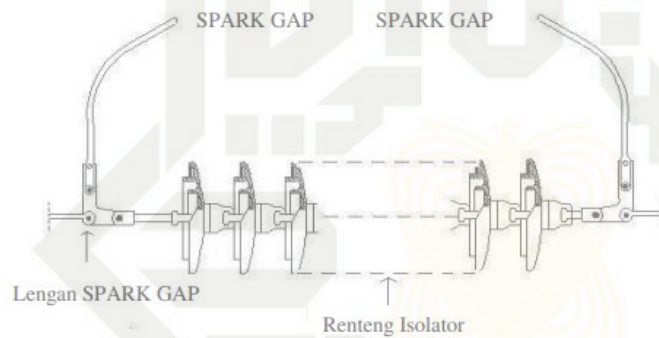
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 7 Isolator gantung (*suspension*)



Gambar 2. 8 Renteng Isolator

Nilai kapasitansi tipikal untuk isolator gantung adalah 80 pF/unit, sedangkan untuk isolator pin nilai kapasitansinya adalah 100 pF/unit. Apabila pada sebuah string isolator terdapat 10 (sepuluh) isolator pin maka kapasitansi ekivalennya adalah $100/10 = 10$ pF/string [9].

2.6 Kawat Penghantar

Kawat penghantar atau konduktor merupakan bahan yang dipakai untuk menghantarkan tenaga listrik pada sistem saluran udara atau bawah tanah dari pusat pembangkit menuju pusat-pusat pengatur beban (*load center*), baik langsung menggunakan jaringan distribusi ataupun jaringan transmisi terlebih dahulu.

2.6.1 Kapasitansi dan Reaktansi Kapasitif

2.6.1.1 Rangkaian fasa tunggal

Apabila ada dua kawat paralel dipisahkan oleh isolasi akan terbentuk kapasitor, jadi mempunyai sifat untuk menyimpan muatan listrik. Bila suatu perbedaan tegangan



dipertahankan antara kedua kawat maka muatan-muatan listrik pada kawat-kawat tersebut mempunyai tanda-tanda yang berlawanan. Sebaliknya bila muatan listrik pada kedua kawat dipertahankan dengan tanda yang berlawanan, perbedaan tegangan akan timbul antara kedua kawat tersebut. Pandanglah suatu saluran fasa tunggal dengan dua penghantar paralel berjarak d_{12} dengan jari-jari masing-masing r_1 dan r_2 seperti pada Gambar 10. Dengan e_{12} adalah beda potensial antara kawat 1, kawat 2, dan penghantar mendapat muatan masing-masing q_1 dan q_2 . maka kapasitansi antara dua penghantar tersebut diekspresikan pada gambar 2.10 dibawah ini.

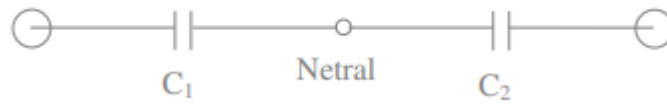


Gambar 2. 9 Saluran fasa tunggal dengan dua penghantar paralel

Prosedur lain adalah dengan memandang suatu titik yang jauh yang berpotensi nol sebagai suatu elektroda kapasitor dan kemudian kapasitansi antara tiap kawat dengan titik tersebut diperhitungkan, maka akan diperoleh dua kapasitor antara tiap kawat dan titik yang mempunyai potensial nol. Tetapi antara kedua kawat pada kedua kapasitor yang terlihat pada gambar 2.11 terhubung seri [4].

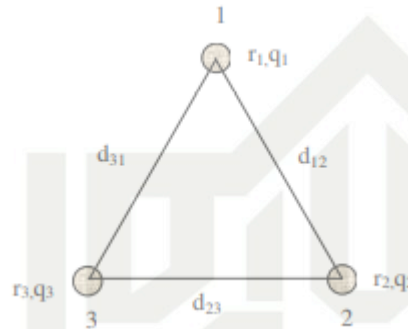
UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 10 Titik netral kapasitansi

2.6.1.2 Rangkaian Fasa Tiga



Gambar 2. 11 rangkaian fasa tiga

Dalam praktiknya yang paling sering dihadapi adalah rangkaian-rangkaian fasa tiga.

Pada gambar 2.12 dapat dilihat suatu rangkaian fasa tiga dengan jarak antara kawat masing-masing d_{12}, d_{13}, d_{23} .

2.7 Konduktor Berkas (*Bundled Conductors*)

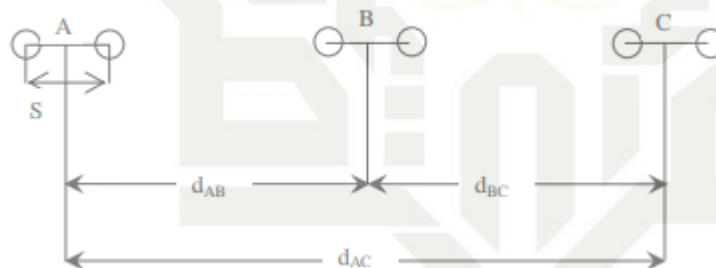
Pada saluran tegangan ekstra tinggi (EHV), yaitu pada tegangan-tegangan yang lebih tinggi dari 230 kV, rugi-rugi korona, terutama interfensi dengan saluran komunikasi sudah sangat besar bila saluran transmisi itu hanya mempunyai satu konduktor per fasa. Untuk mengurangi gradien tegangan, dengan demikian mengurangi rugi-rugi korona dan interfensi dengan saluran komunikasi, jumlah konduktor per fasa dibuat 2, 3, 4, atau lebih. Saluran yang demikian disebut saluran transmisi dengan konduktor berkas (*bundled conductor transmission line*). Dengan menggunakan dua atau lebih konduktor per fasa, maka reaktansi saluran juga akan lebih kecil dan kapasitas hantar bertambah besar.

2.7.1 Reaktansi induktif

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

2.7.2 GMR (Geometric Mean Radius)

GMR konduktor berkas dimana subkonduktor mempunyai jarak-jarak yang sama dan terletak pada suatu lingkaran dengan radius R , dapat diturunkan sebagai berikut: Bila pada saluran terdapat 2 buah subkonduktor, atau $n = 2$ (Gambar 14), maka:



Gambar 2. 13 dua buah subkonduktor

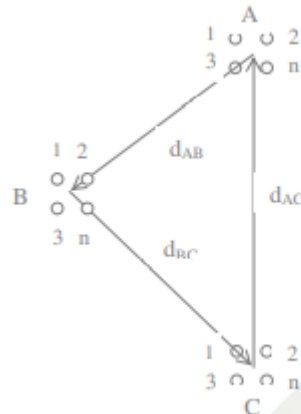
2.7.3 Reaktansi kapasitif

Reaktansi kapasitif merupakan suatu hambatan yang terjadi pada kapasitor pada saat dirangsang dengan sumber tegangan arus bolak balik. Adapun Sifat rangkaian pada RLC seri adalah arus yang melintasi pada R , L dan C memiliki nilai yang sama [5]

2.8 Saluran Ganda Tiga Fasa

Saluran ganda tiga fasa ialah sistem penyaluran yang terdiri dari konduktor yang direntangkan anatar tiang-tiang tower melalui isolator-isolator, dengan sistem tegangan tinggi. Saluran ganda tiga fasa terdiri dari:

1. Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 12 Konduktor berkas fasa 3

Reaktansi induktif sistem fasa tiga dengan konduktor berkas dimana setiap berkas terdapat n buah penghantar seperti dapat dilihat pada gambar 2.13

2.8.1 Reaktansi Induktif Saluran Ganda Fasa-Tiga

Salat saluran ganda fasa-tiga memiliki dua kawat konduktor paralel per fasa dan dimana arus terbagi rata antara dua kawat konduktor, baik karena susunan kawat konduktor yang simetris maupun karena transposisi. pada gambar 2.3.1 diberikan potongan dari saluran ganda fasa-tiga. Konduktor-konduktor a dan b dihubungkan secara paralel, demikian pula konduktor-konduktor b dan e juga pada konduktor-konduktor c dan f.



Gambar 2. 14 Susunan penghantar suatu saluran ganda fasa tiga

Kawat konduktor pada umumnya adalah indentik dengan radius r_1 , jadi: $I_a = I_d$, $I_b = I_e$, dan $I_c = I_f$. Apabila saluran 1 jauh dari saluran 2 maka dapat diabaikan induktansi induktansi Bersama konduktor-konduktor. Pada umumnya kedua saluran itu dipotong pada satu Menara, jadi jarak-jarak antara kawat konduktor tidak besar, sehingga induktansi Bersama tidak dapat diabaikan. Walaupun demikian, dalam praktek sering diambil impendansi dari saluran ganda itu sama dengan separuh dari impendansi dari satu saluran.

2.8.2 Reaktansi Kapasitif Saluran Ganda Fasa-Tiga

Sama reaktansai kapasitif sama halnya dengan reaktansi induktif, dimana konsep GMR dan GMD dapat digunakan juga untuk menghitung reaktansi kapasitif dari saluran ganda fasa-tiga.

2.9 Pengentanahan Menara Transmisi

2.9.1 Tahanan Kaki Menara

Agar kawat fasa terlindungi dari sambaran petir langsung dari maka digunakan satu atau dua kawat tanah yang terletak diatas kawat fasa dengan sudut lindung lebih kecil yaitu 18° . Maka dengan demikian kemungkinan terjadinya loncatan api karena sambaran petir secara langsung dapat diabaikan. Namun kemungkinan terjadinya loncatan api balik pada

puncak menara atau kawat tanah yang diakibatkan oleh sambaran petir langsung tetap masih ada, dan untuk mengurangi tahanan kaki menara harus dibuat maksimal 10 Ohm. Untuk memperoleh tahanan kaki menara 10 Ohm dapat menggunakan satu atau lebih batang pengentanan. Adapun pemilihan dari penggunaan batang pengentanan tergantung pada tahanan jenis tanah dimana transmisi tersebut berbeda [7].

2.9.2 Sistem Pengentanan *Driven Rod*

Untuk mendapatkan nilai tahanan kaki menara yang kecil maka menara transmisi harus direkankan dengan menggunakan satu atau lebih batang pengentanan (*driven rod*) atau sistem *counterpoise*. Sistem pengentanan *driven rod* ini merupakan sistem pengentanan yang menggunakan batang konduktor yang ditanam secara tegak lurus terhadap tanah. Sistem *driven rod* juga dapat menggunakan satu satu atau 4 batang konduktor.



Gambar 2. 15 Driven Rod empat batang konduktor

2.10 Lompatan Api Balik (*Back-Flashover*)

Lompatan api balik (*back-flashover*) adalah sebuah fenomena yang terjadi pada kawat tanah (*ground wire*) saat tersambar oleh petir langsung (*direct stroke*). Besarnya tegangan yang timbul pada isolator transmisi tergantung pada kedua parameter kilat, yaitu puncak dan kecuraman muka gelombang kilat. Tidak semua sambaran kilat dapat menyebabkan terjadinya lompatan api balik (*back-flashover*) pada isolasi saluran atau isolator [3].

Fenomena ini terjadi ketika saat kawat tanah tersambar petir dan sisa arus yang mengalir ke sistem pengantanan kembali lagi ke puncak menara melalui menara transmisi dengan beresilasi. Lompatan api balik (*back-flashover*) pada saluran terjadi apabila tegangan yang timbul sangat besar dan melebihi kekuatan tegangan implus $V_{50\%}$ isolator.



Gambar 2.15 Bekas Isolator Yang Terkena *Flashover* [5]

$$V_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}} \right) \times 10^3 \text{ kV} \quad (2.1)$$

Dimana:

$$K_1 = 0,4 \times L$$

$$K_2 = 0,71 \times L$$

L = Panjang renteng isolator

t = waktu tembus atau waktu lompatan api (μdet)

2.11 Jumlah Sambaran Kilat Ke Bumi, Lompatan Api Dan Busur Api

Jumlah sambaran kilat ke bumi adalah sebanding dengan jumlah hari guruh pertahun atau *Iso Keraunic Level (IKL)* di tempat itu. Dengan kesepakatan para peneliti bahwa sambaran yang mengenai saluran transmisi dekat menara sebesar 60 % dan sisa 40 % mengenai kawat tanah jauh dari menara sepanjang gawang dan probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api untuk saluran udara tegangan tinggi (SUTT) adalah: $\eta = 0,86$. Untuk menghitung jumlah sambaran kilat yang mungkin menyambar kawat transmisi dapat digunakan persamaan [9]:



$$N = 0,85 \times 0,6 \times 0,015 \text{ IKL} (b + 4h_t^{1,09}) \text{ sambaran per } 100 \text{ km/tahun} \quad (2.2)$$

Dimana: IKL = *Iso Keraunic Level* (Intensitas petir)

b = jarak pemisah antara kedua kawat tanah (meter)

h_t = tinggi kawat pada Menara (meter)

Untuk menghitung probabilitas total yang menyebabkan gangguan *back-flashover* perlu terlebih dahulu mengetahui probabilitas distribusi harga puncak arus petir dengan menggunakan rumus empiris menurut enderson-erksson sebagai berikut [9]:

$$P_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{I}{11}\right)^{2,6}} \quad (2.3)$$

Dimana: P_i = probabilitas arus petir

I = amplitude arus petir (kA)

Sedangkan hubungan antara waktu muka gelombang arus petir dengan frekuensi terjadinya dapat dilihat pada tabel 2.1 dan 2.2 berikut [12]:

Tabel 2. 1 arus puncak kilat dan seringnya terjadi [12]

Arus puncak kilat petir (kA)	Seringnya terjadi (%)
10 Sampai 60	90
80	8
100	1.2
160	0.5
200 atau lebih	0.3

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 2. 2 Muka gelombang kilat dan seringnya terjadi [3]

Waktu untuk mencapai harga puncak arus petir (μs)	Seringnya terjadi (%)
Sampai 0,5	7
1	23
1,5	22
≥ 2	48

Sehingga jumlah sambaran yang dapat mengakibatkan *back-flashover* dapat dihitung menggunakan persamaan [9]:

$$N_t = 0,85 \times 0,6 \times 0,015 \text{ IKL } (b + 4h_t^{1,09}) \times P_{BFO} \quad (2.4)$$

Dimana:

$$P_{BFO} = 2[\sum(\text{Prob. T} \times P_i)] \quad (2.5)$$

2.12 Software ATP (Alternative Transient Program)

Software ATP (Alternative Transient Program) merupakan sebuah *software* komputer sebagai program pada ketenagalistrikan yang didesain untuk menyelesaikan persoalan transien pada sistem tenaga listrik. ATP (Alternative Transient Program) digunakan pada rangkaian distribusi maupun rangkaian terkonsentrasi. Program ini dikembangkan pertama kali oleh H.M. Dommel pada tahun 1960-an di Munich Institute of Technology. H.M. Dommel kemudian melanjutkan pekerjaan tersebut di BPA (Bonneville Power Administration) dan bekerja sama dengan S. Meyer. ATP (Alternative Transient Program) merupakan pengembangan dari program EMTP (Electromagnetic Transient Program) yang dikembangkan pada 21 tahun 2012 oleh Dr. Hans Kr. Høidalen di SINTEF Energy Research Norwegian University of Science and Technology in Norway, serta didukung oleh



Bonneville Power Administration, Portland-Oregon-USA. Gambar 2.18 berikut icon dari software ATP Draw [4].



Gambar 2. 16 Icon software ATP Draw (Alternative Transient Program)

ATP Draw dan EMTP lebih ditekankan pada penyelesaian mengenai masalah transien pada sistem tenaga listrik, walaupun demikian program ini juga dapat menyelesaikan persoalan tenaga listrik dalam keadaan lunak. ATP Draw dan EMTP dapat digunakan untuk menganalisis transient pada rangkaian yang mengandung parameter terkonsentrasi (R, L, dan C), saluran transmisi dengan parameter terdistribusi, saluran yang ditransposisi atau saluran yang tidak ditransposisi. ATP Draw dan EMTP sangat tepat jika digunakan untuk menganalisis transient pada operasi surja hubung (*switching surge*) atau surja petir (*lightning surge*) karena program ini secara khusus menyediakan fasilitas pemodelan untuk generator, circuit breaker, transformator, sumber surja petir dan pemodelan berbagai jenis saluran transmisi. (Dommel, Herman, 1996) .



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian pada tugas akhir adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Penelitian yang sifatnya sistematis, terencana, terstruktur dengan jelas dan tepat disebut dengan penelitian kuantitatif. Metode pendekatan memberikan gambaran atau deskripsi pada objek yang diteliti lewat data yang telah terkumpul tanpa rekayasa disebut pendekatan deskriptif. Tujuannya adalah untuk memberikan gambaran pada objek yang diteliti ataupun hasil dari penelitian itu sendiri.

Penelitian ini menganalisis gangguan *back-flashover* pada isolator 150 kV akibat sambaran petir di Gardu Induk Garuda Sakti Kota Pekanbaru Riau adalah kuantitatif. Adapun aspek kuantitatif pada penelitian ini yaitu pengumpulan data seperti mengumpulkan data kelistrikan pada Gardu Induk Garuda Sakti yaitu *single line diagram*, data menara transmisi, data isolator saluran, data sistem pentanahan dan data panjang saluran serta data gangguan.

Setelah data yang dibutuhkan berhasil didapatkan, maka data tersebut diolah dan selanjutnya di simulasikan menggunakan *software* EMTP/ATP.

3.2 Lokasi Penelitian

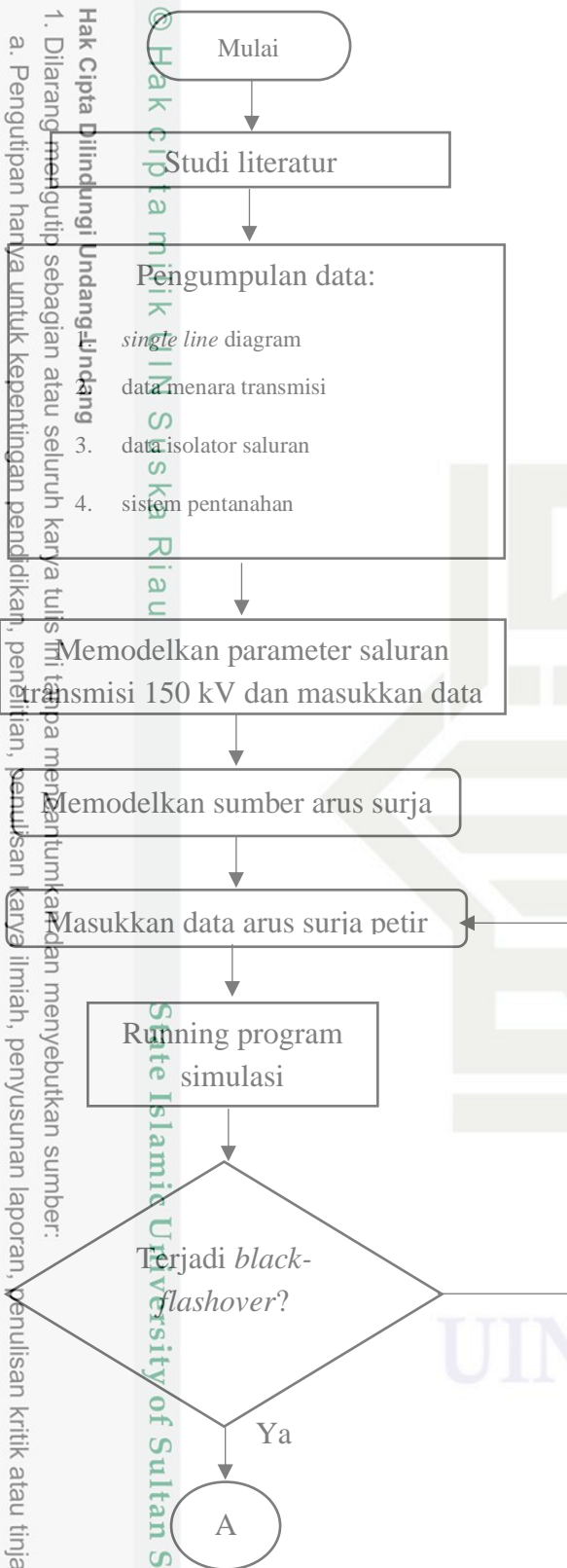
Adapun lokasi yang dipilih sebagai lokasi pada penelitian ini yaitu dilaksanakan di Gardu Induk Garuda Sakti yang berlokasi di Kelurahan Payung Sekaki, Kecamatan Tampan Kota Pekanbaru Provinsi Riau. Dikarenakan Gardu Induk Garuda Sakti sering terjadi kegagalan dikarenakan *flashover* sehingga perlu dilakukan penelitian agar dapat mengatasi permasalahan tersebut.

3.3 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar alir diagram penelitian di bawah ini:



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengemukakan sumber.
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





3.4 Studi Literatures

Studi literatur merupakan tahap dalam mengumpulkan teori-teori dan referensi yang berhubungan dengan isolator, *back-flashover*. Studi literatur ini dilakukan untuk mengetahui data apa saja yang diperlukan dalam penilitan ini.

3.5 Identifikasi Masalah

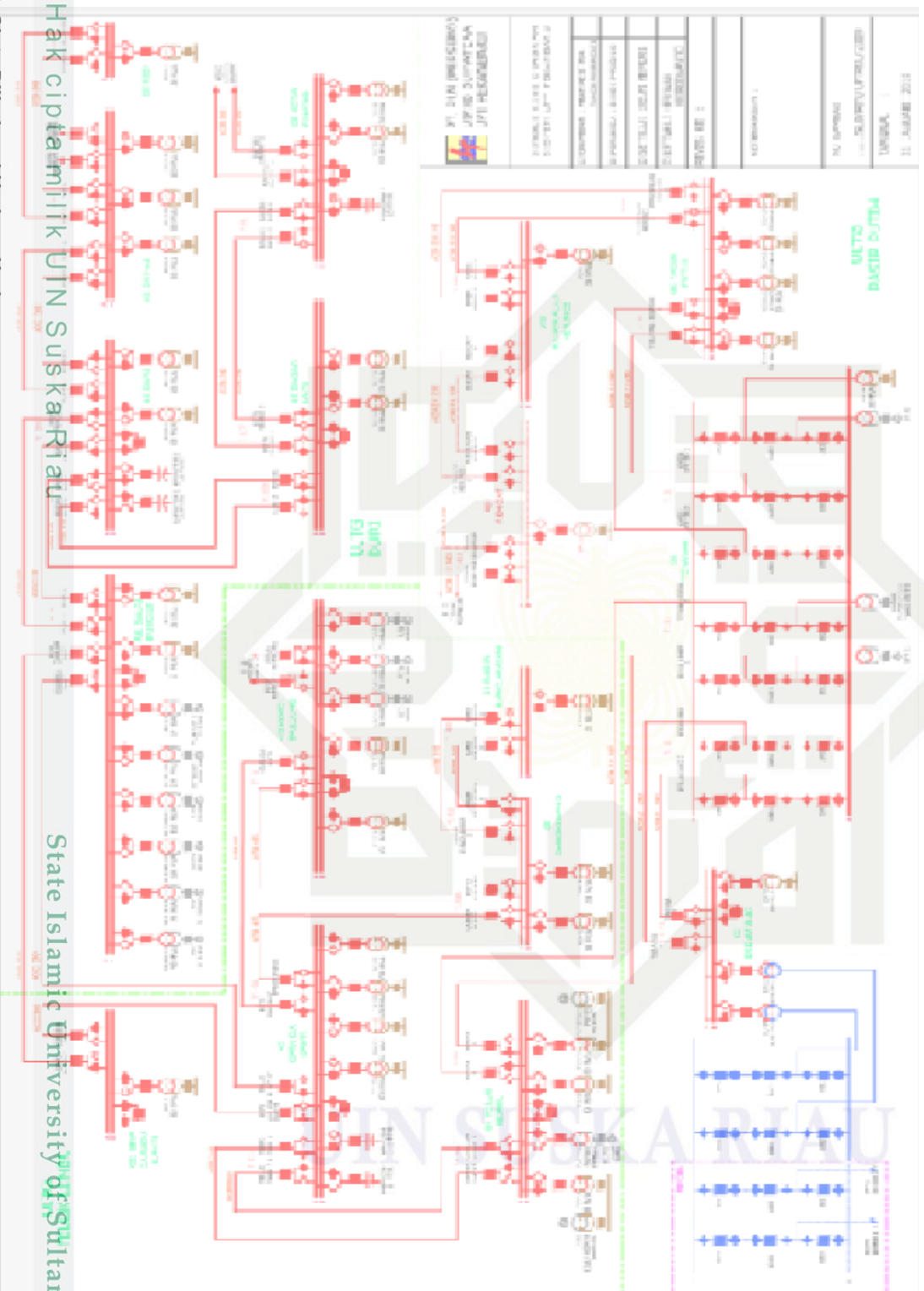
Hal yang pertama dilakukan untuk penilitian yaitu menentukan masalah. Permasalahan yang menjadi topik pada penelitian ini adalah Analisis gangguan *back-flashover* pada isolator yang diakibatkan oleh sambaran petir (Studi Kasus: Gardu Induk Garuda Sakti Kota Pekanbaru - Riau).

3.6 Pengumpulan Data Sekunder

Penelitian ini mengambil data mengenai objek penelitian, yaitu Gardu Induk Garuda Sakti. Adapun data yang diambil adalah sebagai berikut:

3.6.1 Single line diagram

Single line diagram ini adalah sistem UPT Perkanbaru yang terhubung dari GI Garuda Sakti ke GI Balai Pungut, GI Duri, GI Dumai, GI KID, GI Koto Panjang, GI Bagan Batu, GI Kota Pinang, GI Teluk Lembu, GI bangkinang, GI Pasir Pangaraian, GI Pangkalan Kerinci, GI Pasir Putih, GI Tenayan, GI Rengat, GI Taluk Kuantan dan GI Perawang.



Gambar 3. 1 Line Diagram UPT PKU Gardu Induk Garuda Sakti



3.6.2 Data menara transmisi

Menara transmisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah menara model silinder. Berikut adalah spesifikasi dari Menara SUTT:

Tabel 3. 1 Data Menara P3BS Unit Gi Garuda Sakti Pekanbaru

No.	Data Menara	
1.	Panjang Saluran	18,294.01 kms
2.	Jumlah Menara	28.148 menara
3.	Jarak anatar Menara rata-rata	30.652 m
4.	Tipe Menara	AA
5.	Tinggi Menara	40 m
6.	Tinggi tiang penyangga teredah	15 m
7.	Tinggi Menara	40 m
8.	Bahan kontruksi	Besi
9.	Jumlah kolom konduktor	4
10.	Sudut fasa A, B, dan C	0, 120 °, -120 °
11.	SUTT	150 kV

3.6.3 Data spesifikasi isolator

Isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah isolator jenis gantung (*suspension insulator*). Untuk nilai kapasitansi tipikal isolator gantung adalah 80 Pf/unit dan S adalah sakelar yang pengoperasiannya diatur oleh tegangan.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel 3. 2 Data Isolator P3BS Unit Gi Garuda Sakti Pekanbaru

No	Data Spesifikasi Isolator	
1.	Jumlah isolator per renteng	11 piring
2.	Panjang isolator	1,6 m
3.	Standar	CA – 501 EC
4.	IEC Desingn	UI20BS NGK Insulator Ltd
5.	Ukuran	254 x 146 mm
6.	Bil Spark Gap	170 kV
7.	Bahan Isolator	Keramik

3.6.4 Sistem pentanahan

Pada penelitian ini sistem pentanahan menggunakan sistem menggunakan sistem *driven rod* yaitu, sistem pentanahan dengan cara menanamkan batang-batang konduktor tegak lurus ke dalam tanah (vertikal). Sistem ini menggunakan 4 batang konduktor dengan bentuk persegi.

3.6.5 Data kawat konduktor

Adapun kawat yang digunakan adalah jenis konduktor ACSR. Adapun spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 3.3 dan 3.4 dibawah ini:

3.6.5.1 Kawat fasa

Adapun spesifikasi kawat fasa dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. 3 Spesifikasi kawat fasa

Spesifikasi kawat fasa	
Tipe konduktor	ACSR
Diameter	24,99 mm



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Luas penampang	369,24 mm ²
Berat konduktor	1.140 kg/km
Resistansi	0,0827 ohm/km
Modulus elastisitas	69,886 Gpa
Koefisien muai Panjang	21,126 10 ⁻⁶ /°C)
Tempratur operasi	90 °C
Rated breaking streaght	93,92 kN

3.6.5.2 Kawat tanah

Kawat tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah kawat tanah tunggal dan jenis kawat tanah ACSR, spesifikasi kawat tanah dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. 4 Spesifikasi kawat tanah

Spesifikasi kawat tanah	
Tipe konduktor	ACSR
Diameter	23,55 mm
Luas penampang	408,7 mm ²
Berat konduktor	1083 kg/km
Resistansi	0,0771 ohm/km
Modulus elastisitas	60,9 Gpa
Koefisien muai Panjang	18,5 (10 ⁻⁶ /°C)
Tempratur operasi	200 °C
Rated breaking streaght	122,3 kN



3.6.6 Data panjang saluran.

Tahap ini penulis akan mengumpulkan data panjang saluran, berapa jumlah isolator yang digunakan, berapa jumlah menara SUTT, berapa panjang konduktor dan berapa jarak antara GI ke GI lainnya.

3.7 Programming Simulasi Menggunakan Software EMTP/ATP

EMTP/ATP merupakan software pemodelan yang digunakan dalam penelitian ini, software ATP/EMTP menggunakan Satuan Internasional (SI) pada parameternya. Sebelum melakukan simulasi program terlebih dahulu memodelkan parameter-parameter saluran transmisi 150 Kv. Proses pemodelan ini membuat single line diagram simulasi dengan menggabungkan beberapa parameter sehingga membentuk rangkaian simulasi.

Adapun tahap-tahap yang akan dilakukan pada pemodelan simulasi sebagai berikut:

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

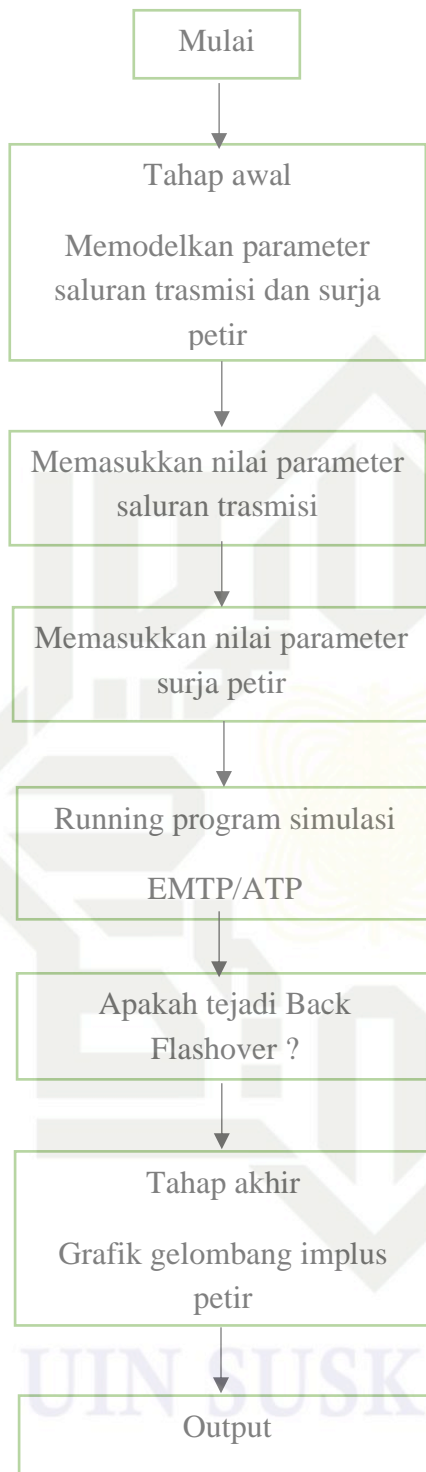


Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





3.7.1 Memodelkan Parameter Saluran Transmisi 150 Kv dan Memodelkan Sumber Arus Surja Petir Dengan EMTP/ATP

Untuk membuat rangkaian simulasi maka parameter-parameter saluran transmisi dimodelkan terlebih dahulu. Parameter-parameter yang akan dimodelkan meliputi menara transmisi, isolator saluran, kawat fasa, kawat tanah, dan sistem pentanahan serta parameter sumber arus surja petir dengan waktu muka dan waktu ekor menurut standar IEC $1,2 \times 50 \mu s$ dan standar CIGRE $3 \times 77,5 \mu s$.

3.7.2 Memasukkan Nilai Parameter Saluran Transmisi

Pada tahap ini, setelah semua parameter dimodelkan. Kemudian masukkan masing-masing nilai parameter dari menara, isolator, kawat fasa, kawat tanah, dan sistem pentanahan.

3.7.3 Memasukkan Nilai Parameter Arus Surja Petir

Setelah semua nilai parameter saluran dimasukkan, selanjutnya masukkan nilai parameter sumber arus surja petir yaitu 10 kA hingga 160 kA. Proses ini dilakukan secara berulang kali sehingga didapatkan hasil arus petir minimum yang mengakibatkan gangguan terjadinya *back flashover* pada isolator saluran.

3.7.4 Running Program Simulasi

Tahapan ini merupakan sebuah instruksi atau perintah yang sedang dijalankan untuk mendapatkan hasil setelah rangkai simulasi di masukkan data surja petir.

3.7.4 Apakah Terjadi Black Flashover

Setelah tahapan running dilakukan maka selanjutnya menganalisis apakah terjadi *black-flashover* pada rangkai simulasi, jika ya maka akan masuk ke selanjutnya dan jika tidak terjadi *black-flashover* maka dilakukan pengujian berulang kali sampai di dapatkan pada surja arus berapakah yang mengakibatkan terjadinya *black-flashover* pada fasa A fasa B dan C.

3.7.5 Grafik gelombang implus petir

Adapun hasil dari running program simulasi yaitu cuplikan gelombang implus petir yang berupa grafik kenaikan tegangan pada isolator. selanjutnya analisis simulasi yang telah dilakukan, simpan cuplikan hasil simulasi yang mengakibatkan *black-flashover* pada rangkaian simulasi fasa A, fasa B dan fasa C. Kemudian setelah grafik tegangan impuls petir pada isolator dan Grafik $V-t$ *back-flashover* isolator didapat, maka kedua grafik tersebut dapat diolah untuk menganalisis lompatan api balik (*back-flashover*). Simpan cuplikan



tegangan impuls pada isolator dalam bentuk file “.txt” agar dapat diolah pada perangkat lunak Microsoft Excel 2016,

3.12 Menggabungkan Grafik V-t Lompatan Balik (*back flashover*)

Menggabungkan nilai tegangan lompatan api kritis $V_{50\%}$ dan waktu tembus atau waktu lompatan api menggunakan Microsoft Excel 2016 agar dapat dijadikan Grafik V-t lompatan balik (*back-flashover*) isolator.

3.14 Analisis Fasa Mana Saja Yang Terjadi *Black Flashover*, Berapa Besar Tegangan Dan Waktu Terjadinya *Black-Flashover*

Tahap ini adalah menentukan arus surja petir minimum yang dapat mengakibatkan *back flashover* pada Fasa A, B, dan C.

3.15 Menghitung probabilitas dan jumlah sambaran yang dapat mengakibatkan terjadinya *black flashover*

Tahapan ini menghitung probabilitas jumlah sambaran petir yang dapat mengakibatkan terjadinya *black-flashover* pada fasa A fasa B dan fasa C. Adapun Langkah-langkah pengolahan data untuk mengetahui jumlah sambaran yang dapat mengakibatkan *back-flashover* sebagai berikut:

3.15.1 Menghitung nilai probabilitas distribusi harga puncak arus petir

Pada tahap ini, untuk mendapatkan nilai probabilitas distribusi harga puncak arus petir dapat menggunakan persamaan 2.2 empiris menurut Anderson-Eriksson, Adapun data yang dibutuhkan dalam perhitungan ini selain dari nilai ketentuan pada persamaan adalah Amplitudo arus petir (I).

3.15.2 Menghitung probabilitas yang mengakibatkan gangguan *back-flashover*

Pada tahap ini, persamaan 2.5 digunakan dalam perhitungan manual untuk mencari nilai probabilitas yang mengakibatkan gangguan *back flasahover*. Data yang dibutuhkan dalam perhitungan manual adalah Prob.T dan probabilitas arus petir (P_I)

3.15.3 Menghitung jumlah sambaran yang dapat mengakibatkan *back-flashover* pada setiap fasa menggunakan persamaan:

Pada tahap ini dilakukan perhitungan manual dengan menggunakan persamaan 2.4 Adapun hasil dari perhitungan ini berupa jumlah sambaran petir yang dapat mengakibatkan gangguan *back flashover* pada setiap fasa. Adapun nilai yang dibutuhkan pada perhitungan ini adalah nilai selain dari ketentuan rumus perhitungan terdiri dari IKL adalah jumlah



sambaran petir yang bersumber dari data BMKG kota pekanbaru dalam waktu setahun, tinggi menara (h_t), jarak pemisah antara kedua kawat tanah (b), probabilitas gangguan *back flashover* dalam waktu tertentu (P_{bfo}),

3.16 Analisis dan Hasil

Tahapan ini berisi mengenai hasil dari pengujian arus surja petir (kA) dan hasil perhitungan manual untuk mendapatkan nilai probabilitas gangguan *back flashover* yang terjadi pada setiap tahunnya dan perbandingan nilai tegangan pengujian berdasarkan standar ICE dan CIGRE.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi rangkaian dan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian simulasi dimulai dari amplitud arus petir 10 kA hingga 160 kA.
2. Arus petir minimum yang dapat menyebabkan gangguan *black-flashover* menurut standar IEC dan CIGRE pada fasa A pada saat amplitud arus petir 21 kA, fasa B 28 kA dan fasa C pada saat amplitud arus 57 kA dengan masing-masing besar gangguan yang berbeda-beda.
3. Probabilitas gangguan *black-flashover* pada fasa A sebesar 0,1026, fasa B sebesar 0,0791, dan fasa C sebesar 0,023.
4. Jumlah sambaran yang dapat mengakibatkan gangguan *black-flashover* pada fasa A sebesar gangguan per 24,22 km/tahun, fasa B sebesar gangguan per 18,67 km/tahun, sedangkan pada fasa C sebesar gangguan per 5,61 km/tahun.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka dapat diajukan beberapa saran agar penelitian ini bermanfaat dan dapat dilakukan penelitian lebih lanjut tentang gangguan *black-flashover* pada isolator saluran transmisi, diantaranya:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan standar waktu ekor Japan ($T_f \times T_t = 1 \times 40 \mu s$)
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menganalisis dampak atau berapa jumlah piringan isolator yang terpapar oleh gangguan *black-flashover*



DAFTAR PUSTAKA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

[1]

[2]

[3]

[4]

[5]

[6]

[7]

[8]

[9]

Novri Andrean, Fri Murdiya, *Analisis Korelasi Kawat Tanah Dengan Tahanan Pentanahan Terhadap Black Flashover*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 2019

Muhammad Azmy, *Perancangan Sistem Proteksi Petir Eksternal Dengan Menggunakan Metode Non Konvensional Pada Gedung Fakultas Ushuluddin Uin Suska Riau*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negri Sultan Syarif Kasim Riau, Jl Soebrantas Km 155 Pekanbaru 2018

Bayu Cipto Rahmono, Rudi Kurnianto, Usman A Gani, *Studi Perhitungan Tegangan Black Flashover Pada SUTET 275 Kv Bayangkara-Mambong Akibat Sambaran Petir Langsung*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Jln. Prof. H. Hadari Nawawi, Pontianak, Indonesia, 2019

Havel Alindo Sano, Fri Murdiya, *Analisa System Proteksi Petir Pada Sutt 150 Kv Menggunakan Software ETP*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Jl HR. Soebrantas Km 12,5 Panam, Pekanbaru 2018

Data Rekap Gangguan UPT P3BS PT PLN Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru Riau

Arif Jaya, Andi Syarifuddin, Dan Sugianto, *Pengaruh Equivalent Salt Deposit Density Terhadap Tegangan Flashover Bahan Isolasi Low Density Polyethyelen (LDPE)*, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia, Makassar 2019

Toppi Kurniawan, *Analisis Kemampuan Pentanahan Menara SUTT Terhadap Sambaran Petir Langsung Yang Mengakibatkan Backflashover Pada Saluran Transmisi 150 Kv Ponogoro-Manisrejo*, Program Studi Teknik Elektro, Konsentrasi Teknik Energy Listrik, Fakultas Teknologi Industry, Institute Teknologi Nasional, Malang. 2017

Aris munandar. *Teknik Tegangan Tinggi*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta. 1990.

Muhammad Yudi Nugroho, Mochmmad Facta, dan Abdul Syakur, *Penggunaan ATP DRAW 3.8 Untuk Menentukan Jumlah Gangguan Pada Saluran Transmisi 150 KV Akibat Blackflashover*, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang.

- Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia. 2016
- Arif Jaya, Andi Syarifuddin, Dan Sugianto, *Pengaruh Equivalent Salt Deposit Density Terhadap Tegangan Flashover Bahan Isolasi Low Density Polyethyelene (LDPE)*, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia, Makassar 2019
- Jefri Malik, Edy Ervianto, Dan Nurhalim, *Pengaruh Tahanan Kaki Menara Type Gantry Terhadap Back Flashover Pada Isolator Saluran 115 Kv*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 2015
- Ir. Ts. Hutaaruk MEE, *Gelombang Berjalan Dan Proteksi*, Institut Telnologi Bandung. 1989
- Reza Irwanto, *Studi Analisa Probabilitas Perlindungan Kawat Tanah Terhadap Gangguan Kilat Pada Saluran Tegangan Tinggi (SUTT) 150 KV Singkarak-Padang Panjang*. Institut Teknologi Padang. 2017
- A. Ametani and T. Kawamura, *A Method of a lightning surge analysis recommended in Japan using EMTP*. 2005
- Prof. Dr. Reynaldo Zoro, *Sistem Proteksi Petir Pada Sistem Tenaga Listrik*, PT. Remaja Rosdakarya. Bandung. 2018

REKAPITULASI GANGGUAN SISTEM TRANSMISI P3B SUMATERA
MENYEBABKAN KONSUMEN PADAM & TIDAK PADAM TAHUN - 2020

SUTT 150 kV		18.294,01	AMS	28.149	TOWER									
Trafo Operasi		376	Baru	23.734,28	MYA									
Gardu Induk		203	Baru	276	ANOTHER BAY									
Jumlah TRAGI		35	Baru											
P3B SUMATERA		3	P3B SUMATERA											
BULAN	JMLAH GANGGUAN (ka)		KALI GANGGUAN		JAMA GANGGUAN (jam)		DURASI GANGGUAN		ANOTHER BAY		TRIP INCOMING TRAFODUPRASI INCOMING TRAF			
	TRAFO	SUTTSUTE	TROF (ka/Unit)	TLOF (ka/1000ms)	TRAFO	SUTTSUTE	TROD (jam/Unit)	ILUU (jam/1000ms)	Kali GGN	ABOF (ka/Unit)	Kali	ITOF (ka/Unit)	Durasi	ITOD (jam/Unit)
JANUARI	2	5	0,01	0,03	153	188	0,00	0,01	0	0,00	5	0,013	183	0,005
FEBRUARI	3	5	0,01	0,03	4,25	11,32	0,01	0,06	0	0,00	4	0,011	183	0,005
MARET	1	16	0,00	0,09	0,63	11,40	0,00	0,06	1	0,00	4	0,011	4,00	0,011
APRIL	3	7	0,01	0,04	2,17	5,42	0,01	0,03	1	0,00	1	0,003	0,60	0,002
MEL	2	5	0,01	0,03	1,68	2,02	0,00	0,01	0	0,00	2	0,005	0,83	0,002
JUNI	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0,000	0,00	0,000
JULI	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0,000	0,00	0,000
AGUSTUS	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0,000	0,00	0,000
SEPTEMBER	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0,000	0,00	0,000
OKTOBER	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0,000	0,00	0,000
NOPEMBER	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0,000	0,00	0,000
DESEMBER	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0,000	0,00	0,000
AWALAH	11	38	0,03	0,21	10,27	32,03	0,03	0,18	2	0,01	16	0,04	9,10	0,02
TARGET 2020	29	74	0,08	0,42	32,31	72,27	0,09	0,41	8	0,03	36	0,11	41,73	0,13
TARGET s.d Mei	13	32	0,03	0,18	14,10	31,25	0,04	0,17	3	0,01	16	0,05	18,25	0,05
3. Frekuensi dari Target 2020	38,30%	51,33%	36,57%	49,46%	31,78%	44,33%	30,34%	42,71%	24,51%	24,15%	44,18%	38,07%	21,81%	18,79%
Sisa Sampai	18	36			22,04	40,23								
Sisa s.d April 2020	2	-6			3,83	-0,78			P3B SUMATERA					

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

LAMPIRAN A

Data Yang Diperoleh Dari UPT PLN Gi Garuda Sakti Kota Pekanbaru

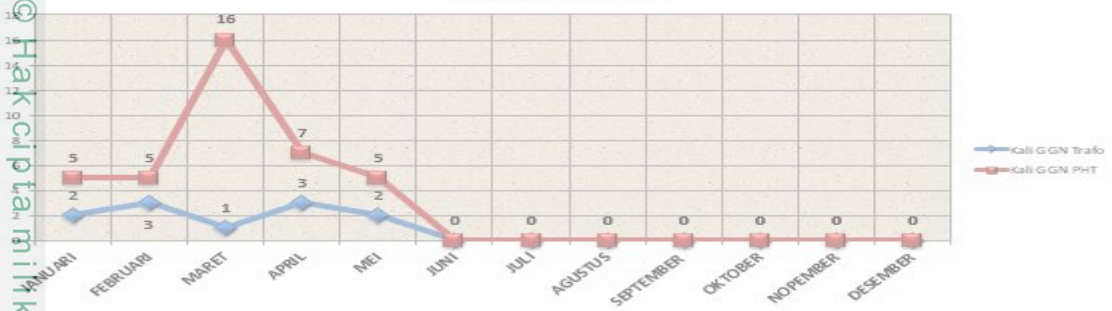
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

KALI GANGGUAN



DURASI GANGGUAN



REKAPITULASI ENS SISTEM TRANSMISI P3BS

SUTT 150 kV	18,294.01	kMs	28,149	TOWER
Trafo Operasi	376	Unit	23,734.28	MVA
Gardu Induk	203	Buah	276	ANOTHER BAY
Jumlah TRAG	35	Buah		

BULAN	ENERGITAK TERSALUR (MWh)			ENS	ENERGI SALUR
	SUTT	TRAFO	Jumlah		
JANUARI	45.49	0.47	45.96	0.001458	3,152,522,561.51
FEBRUARI	118.60	0.99	119.59	0.003865	3,094,020,919.19
MARET	90.18	6.00	96.18	0.002892	3,325,571,843.99
APRIL	4.70	3.82	8.52	0.000270	3,153,284,916.84
MEI	11.49	1.00	12.49	0.000388	3,216,669,807.29
JUNI	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00
JULI	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00
AGUSTUS	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00
SEPTEMBER	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00
OKTOBER	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00
NOPEMBER	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00
DESEMBER	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.00
JUMLAH	270.46	12.28	282.74	0.001773	15,942,070,048.82



Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

REKAP PENYEBAB GANGGUAN P3B SUMATERA 2020



UNIT P3B SUMATERA

PADAM & TIDAK PADAM

UNTUK MEMILIH :
1. PADAM
2. TIDAK PADAM
3. PADAM & TIDAK PADAM
LINK KE DI SHEET "TRAFODIAGNOSIS"

	TV I	TV II	TV III	TV IV	KUMULATIF	ARGET 2019
ENS	261.73	21.01	0.00	0.00	282.74	
TROD	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03	0.09
TLOD	0.13	0.04	0.00	0.00	0.18	0.41
TROF	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03	0.08
TLOF	0.14	0.07	0.00	0.00	0.21	0.42

PENYEBAB	BAY	TV I	TV II	TV III	TV IV	KUMULATIF	TARGET
Pohon	TRAFO	0	0	0	0	0	
	SUTT	4	0	0	0	4	
Petir	TRAFO	0	1	0	0	1	
	SUTT	10	7	0	0	17	
Relai	TRAFO	0	1	0	0	1	
	SUTT	0	0	0	0	0	
Alat	TRAFO	3	3	0	0	6	
	SUTT	8	2	0	0	10	

Pohon	TRAFO	0%
	SUTT	11%
Petir	TRAFO	3%
	SUTT	45%
Relai	TRAFO	3%
	SUTT	0%
Alat	TRAFO	55%
	SUTT	26%

PFL / Manusia	TRAFO	0	0	0	0	0	
	SUTT	0	2	0	0	2	
Binatang	TRAFO	2	0	0	0	2	
	SUTT	4	1	0	0	5	
Layanan	TRAFO	0	0	0	0	0	
	SUTT	0	0	0	0	0	
Sistem	TRAFO	0	0	0	0	0	
	SUTT	0	0	0	0	0	
Pengulang	TRAFO	1	0	0	0	1	
	SUTT	0	0	0	0	0	
JMLAH	TRAFO	6	5	0	0	11	29
	SUTT	26	12	0	0	38	74

FL / Manusia	TRAFO	0%
	SUTT	5%
Binatang	TRAFO	16%
	SUTT	13%
Layanan	TRAFO	0%
	SUTT	0%
Sistem	TRAFO	0%
	SUTT	0%
Pengulang	TRAFO	3%
	SUTT	0%

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN B

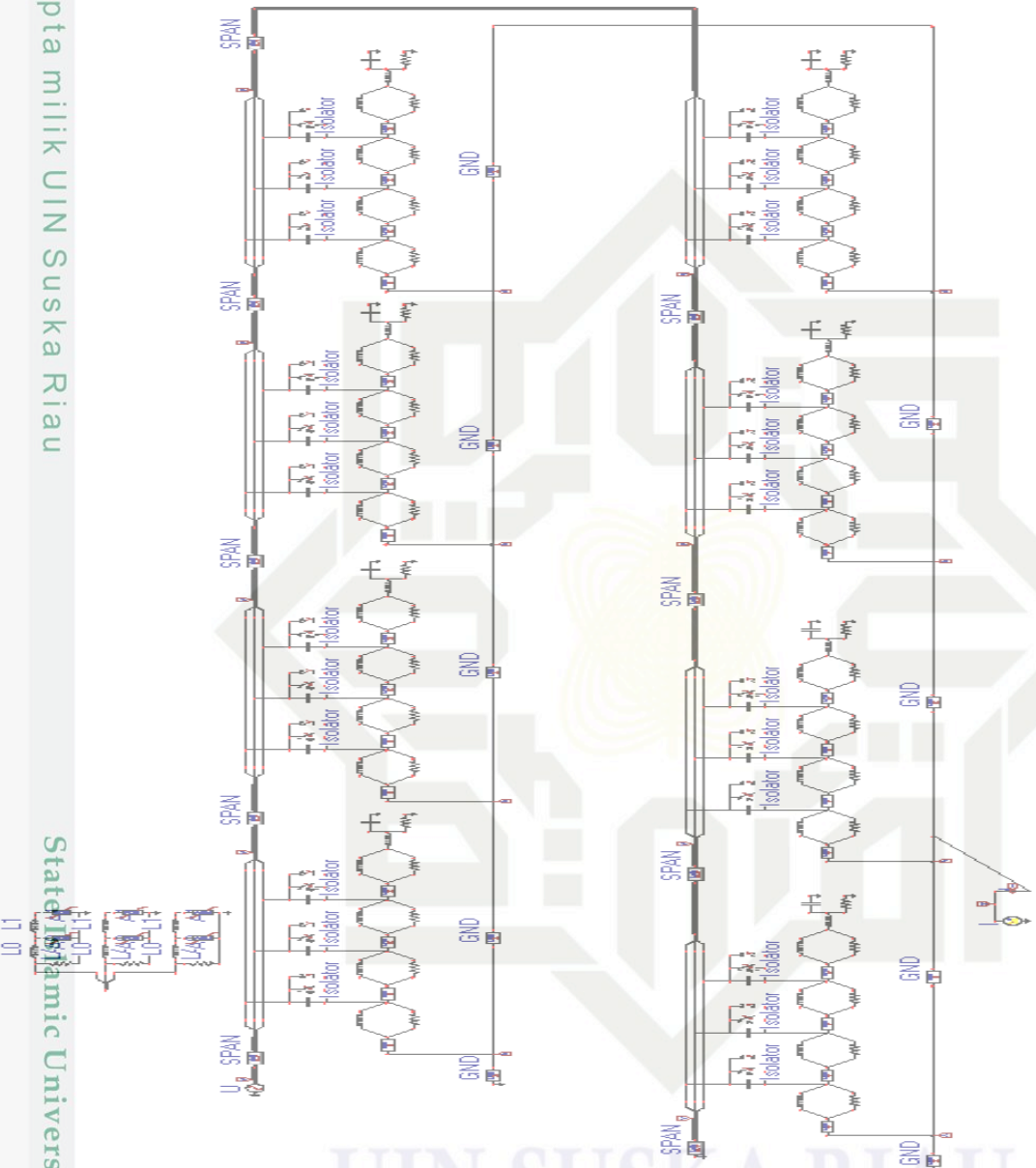
Rangkaian Simulasi EMTP/ATP Draw

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



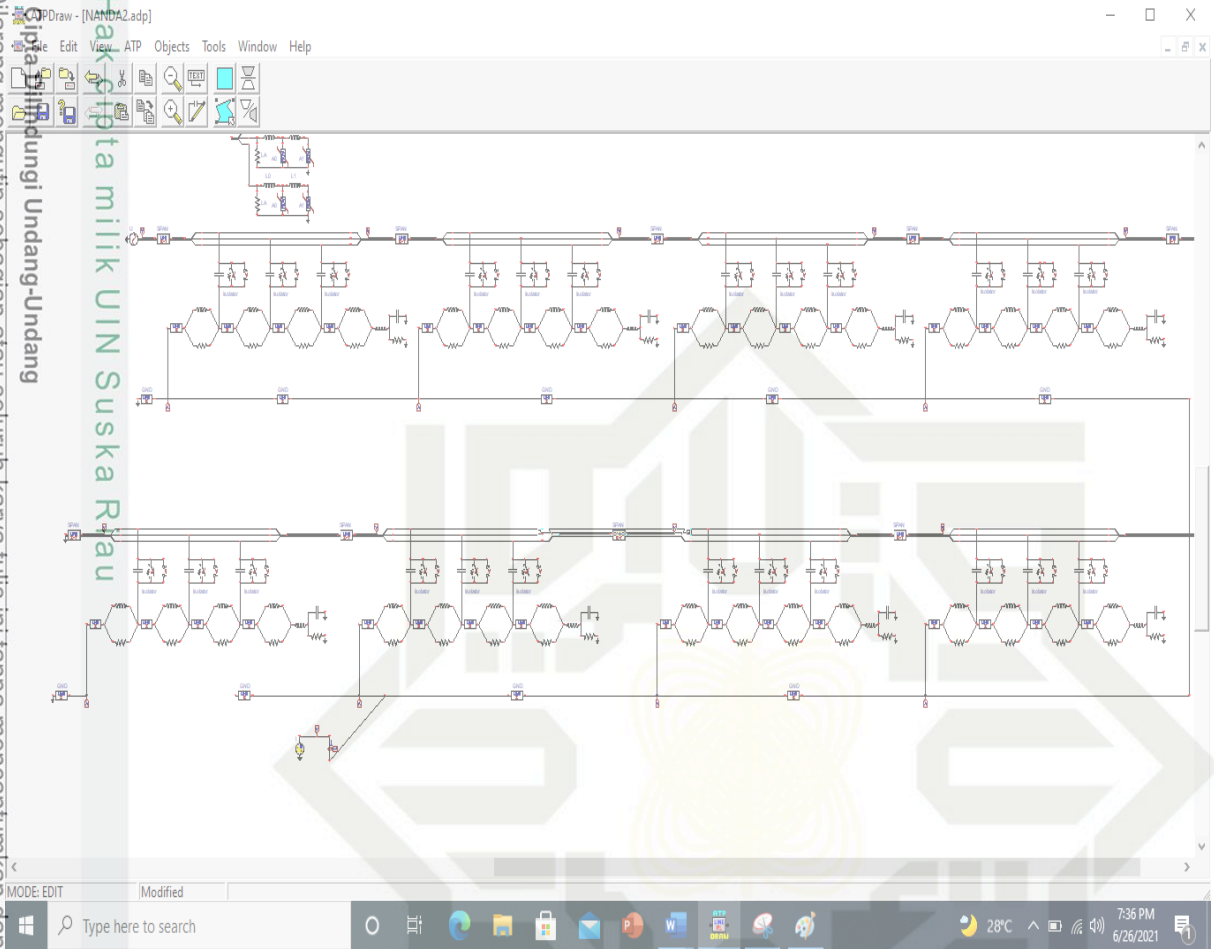
Rangkaian Simulasi pada software EMTP/ATP

Hak Cipta milik UIN Suska Riau

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



LAMPIRAN C

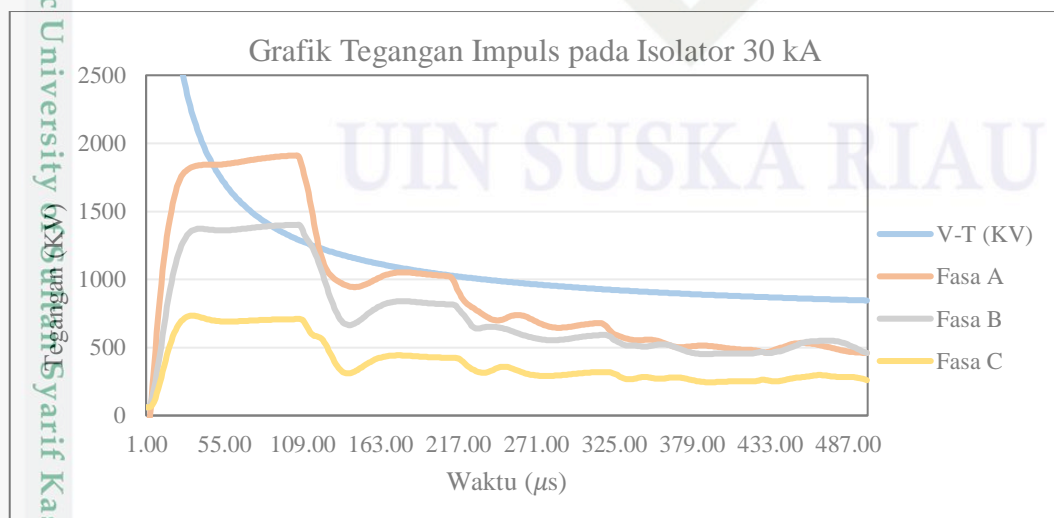
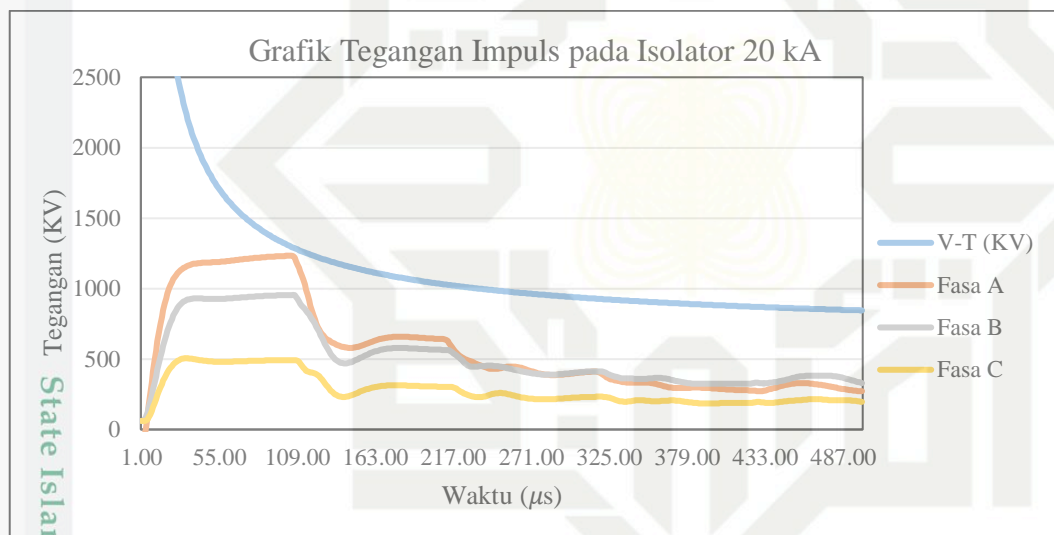
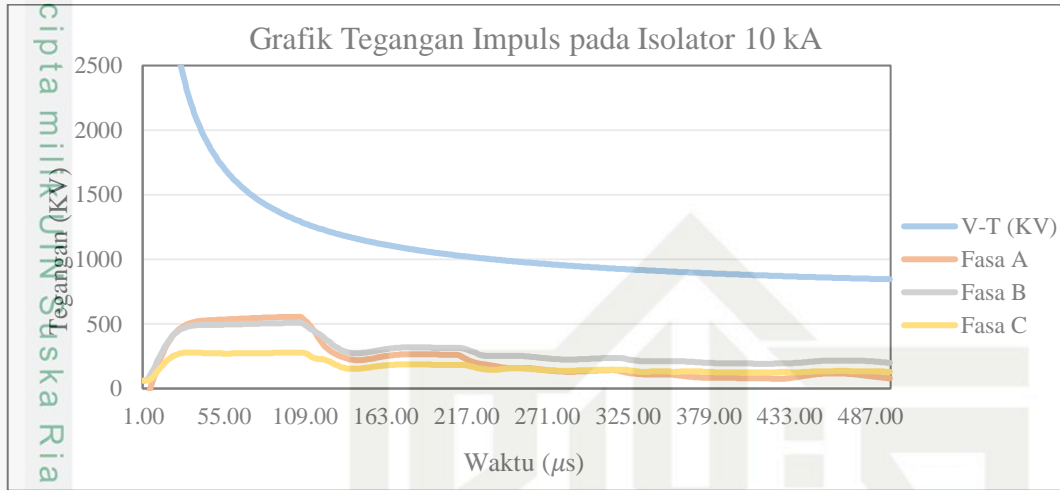
Back-Flashover Dengan Waktu Muka Dan Waktu Ekor Standar IEC $T_f \times T_t = 1,2 \times 50 \mu s$.

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



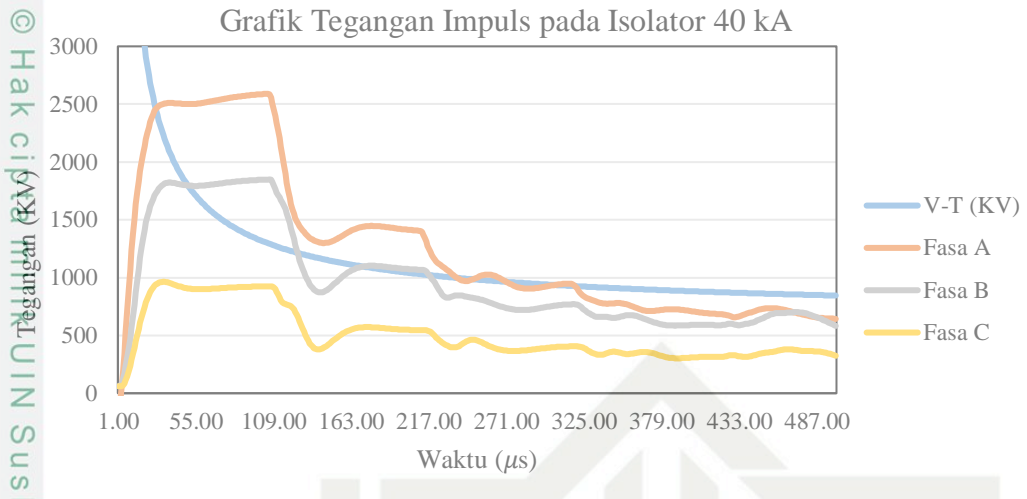
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

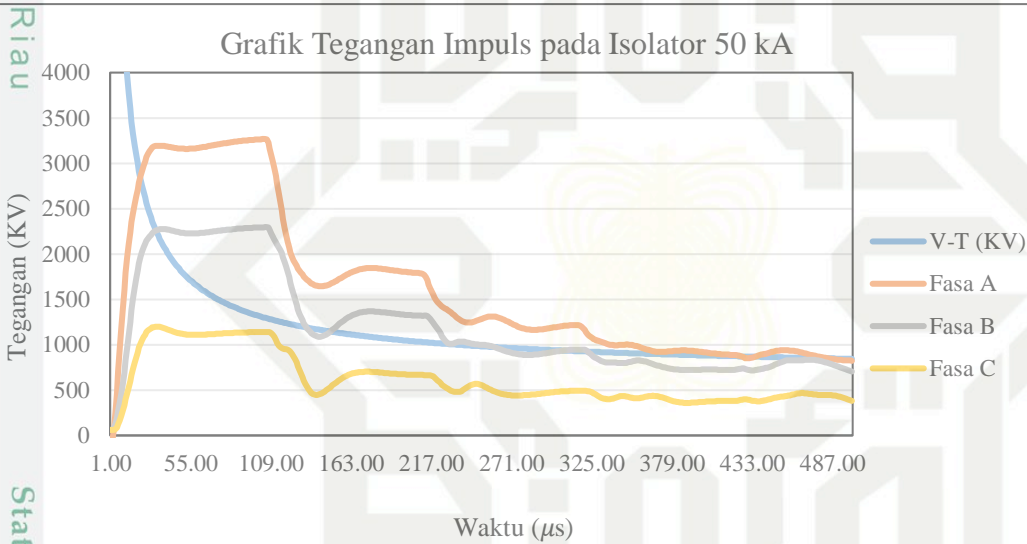
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

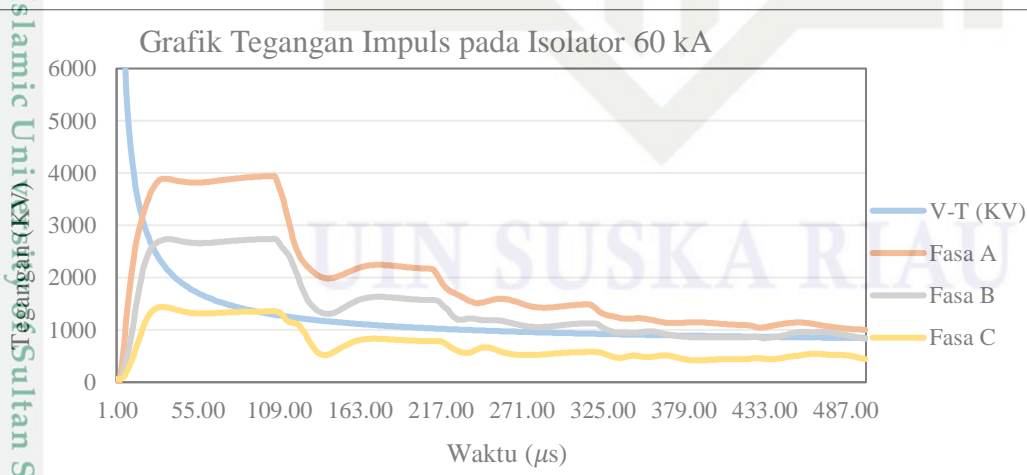
Grafik Tegangan Impuls pada Isolator 40 kA



Grafik Tegangan Impuls pada Isolator 50 kA



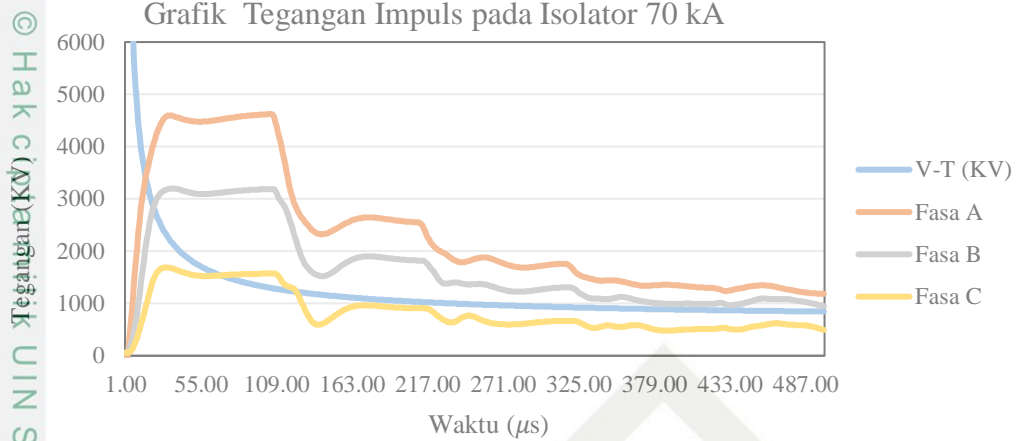
Grafik Tegangan Impuls pada Isolator 60 kA



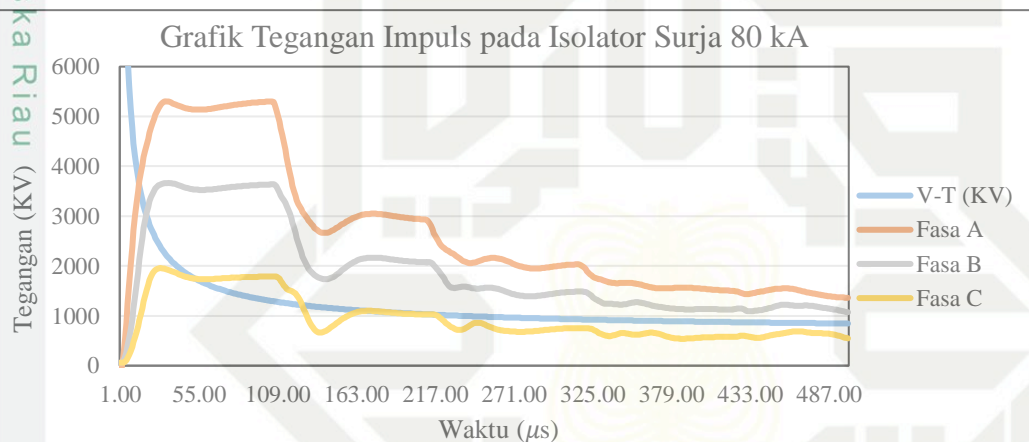
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

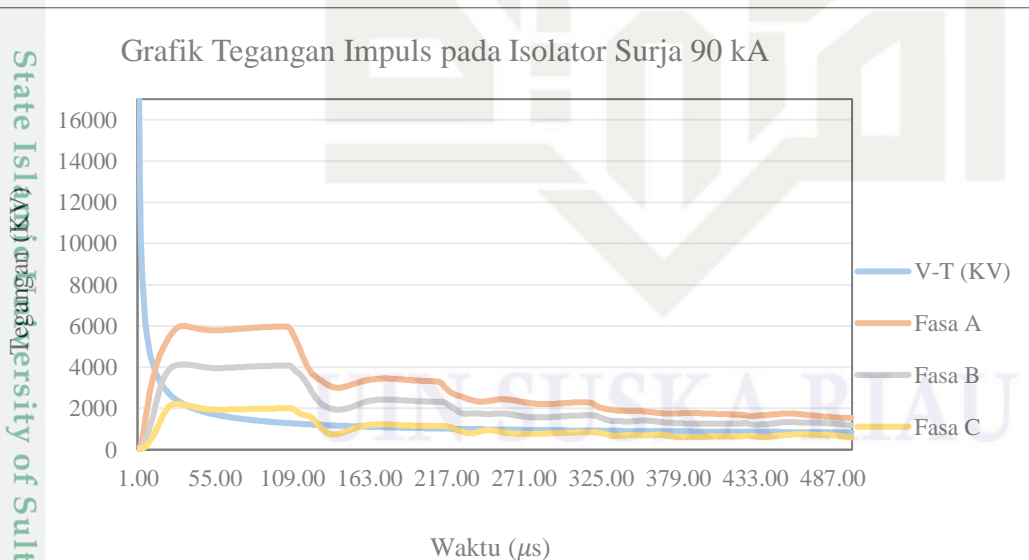
Grafik Tegangan Impuls pada Isolator 70 kV



Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 80 kV

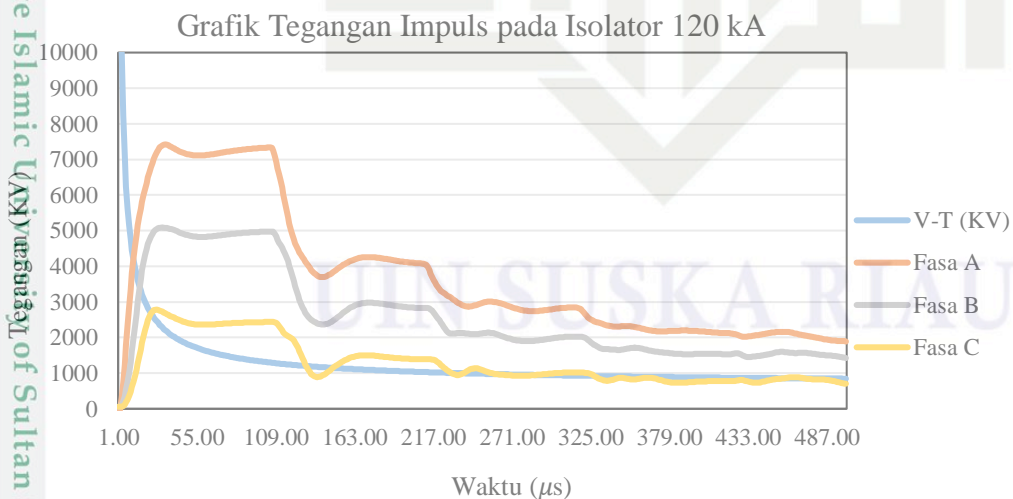
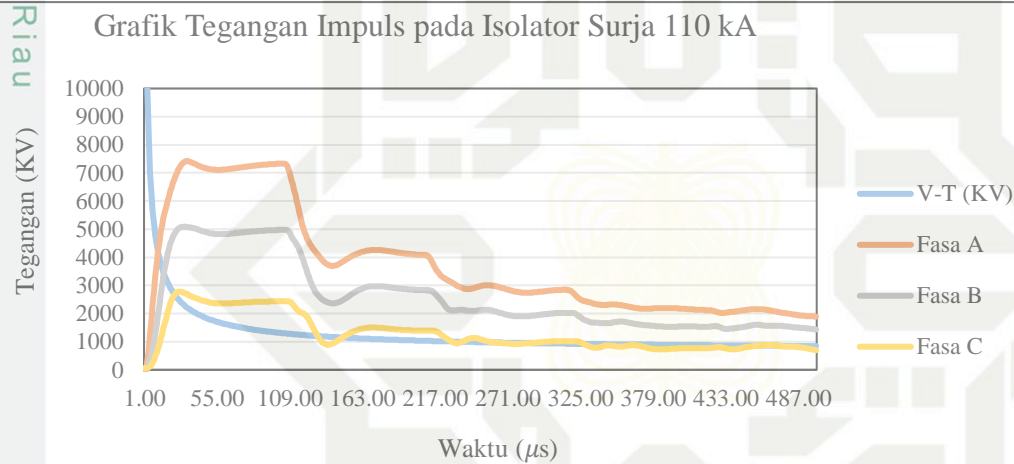
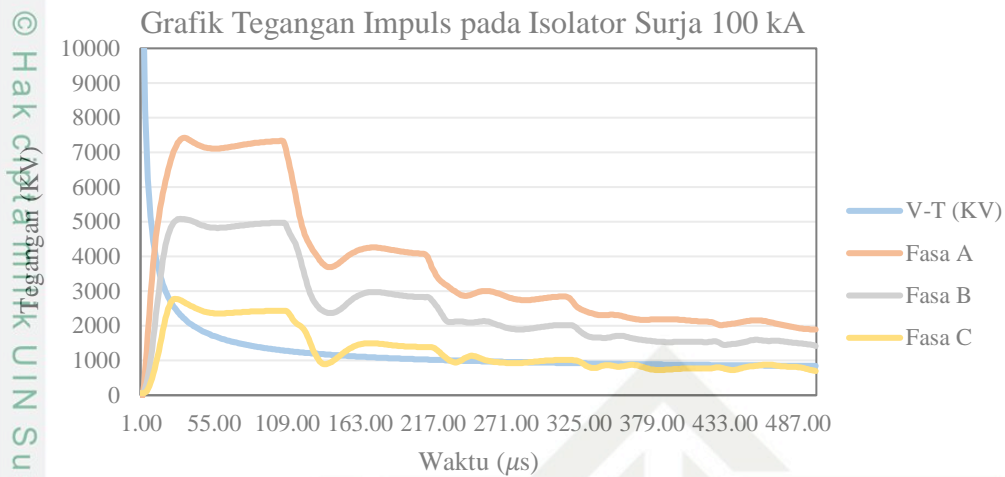


Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 90 kV



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

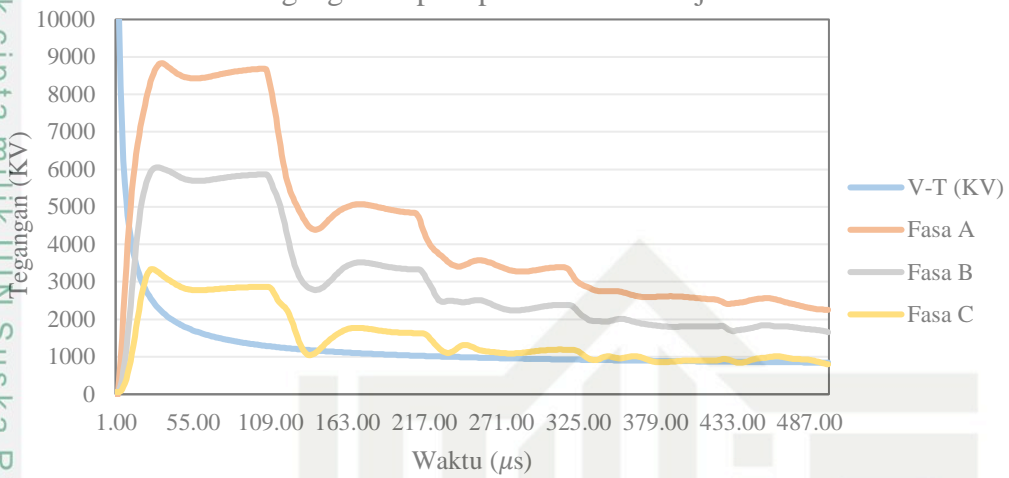
1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



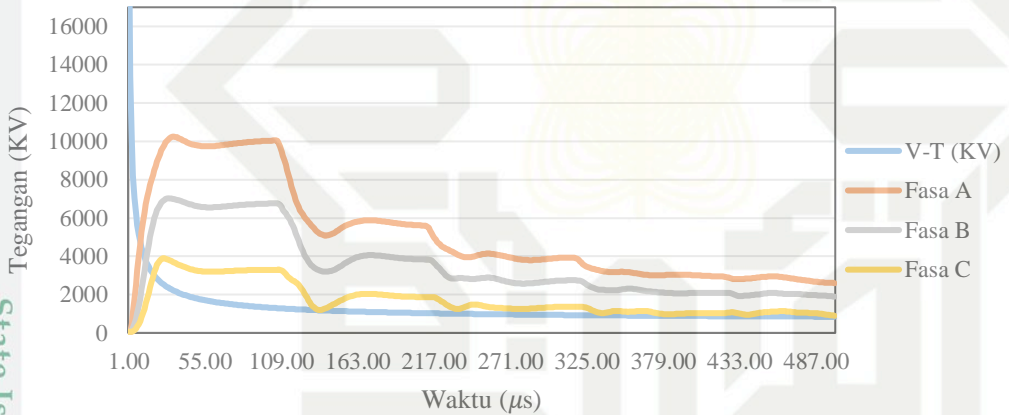
Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 130 kA



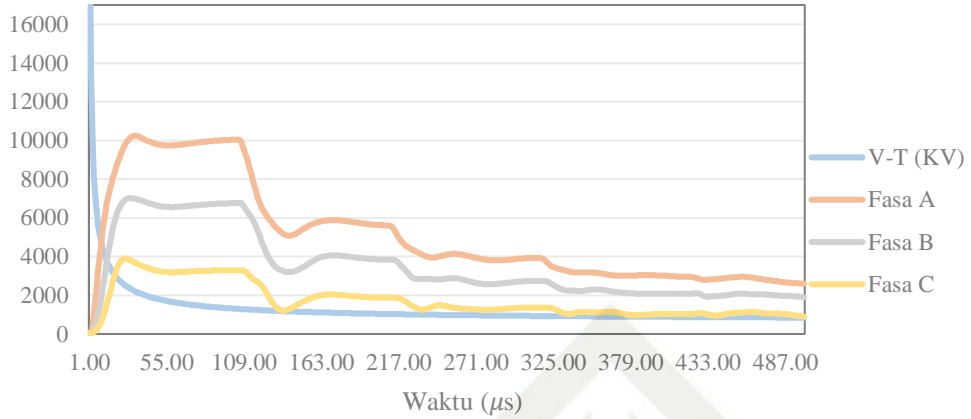
Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 140 kA



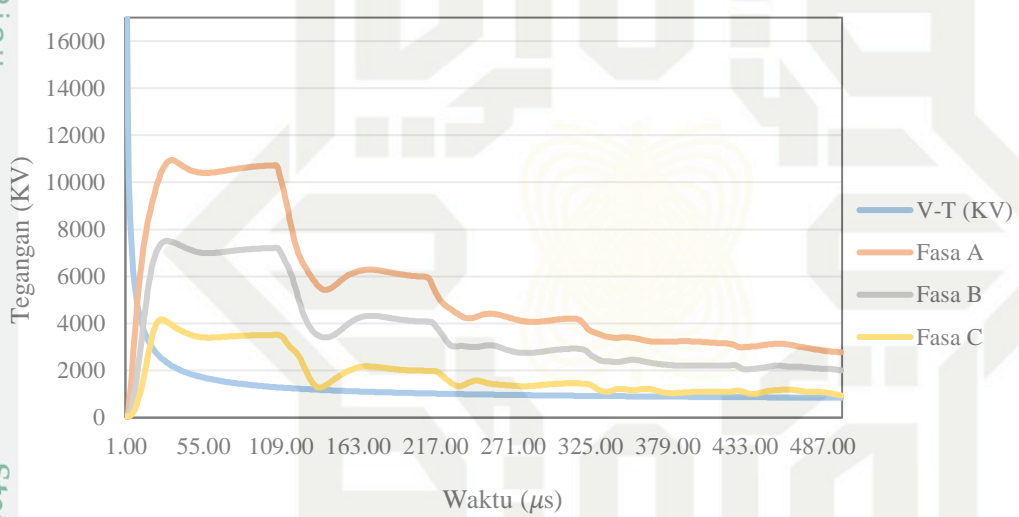
Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 150 kA



Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 160 kA





LAMPIRAN D

Back-Flashover Dengan Waktu Muka Dan Waktu Ekor Menggunakan Standar CIGRE $T_f \times T_r = 3 \times 77,5 \mu s$

Hak cipta dilindungi Undang-Undang

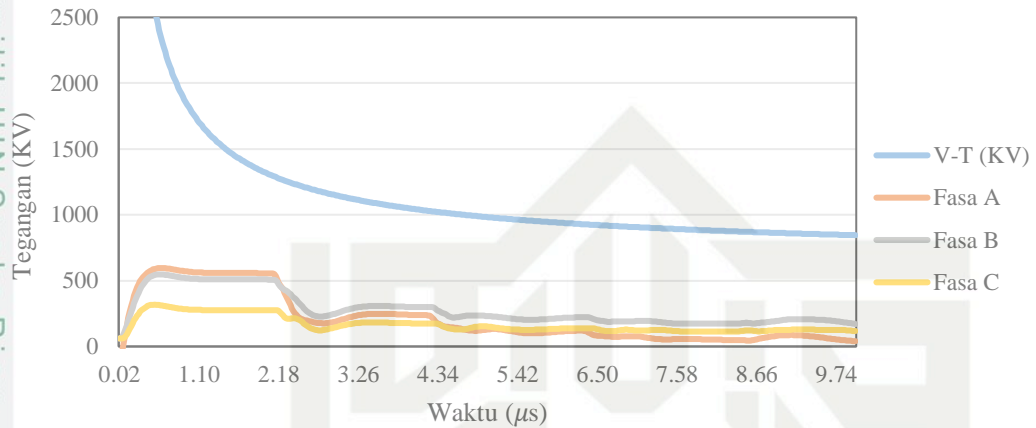
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

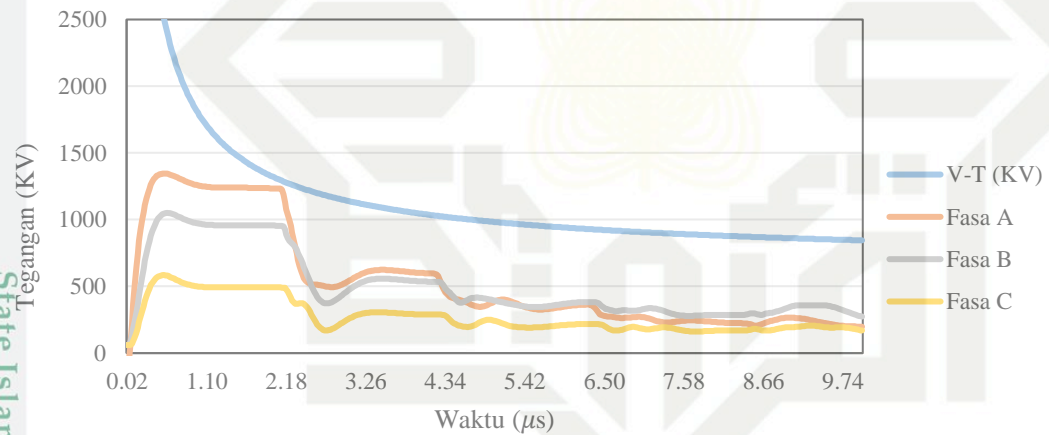
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

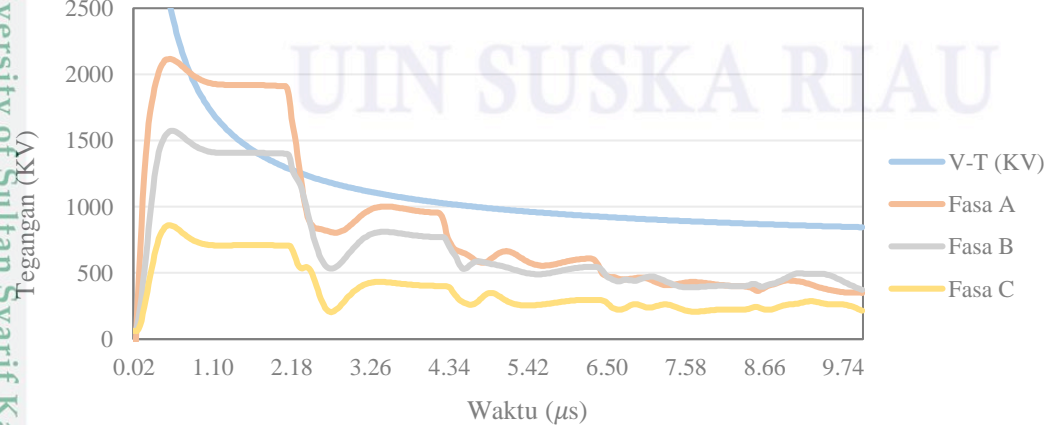
Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 10 kA



Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 20 kA



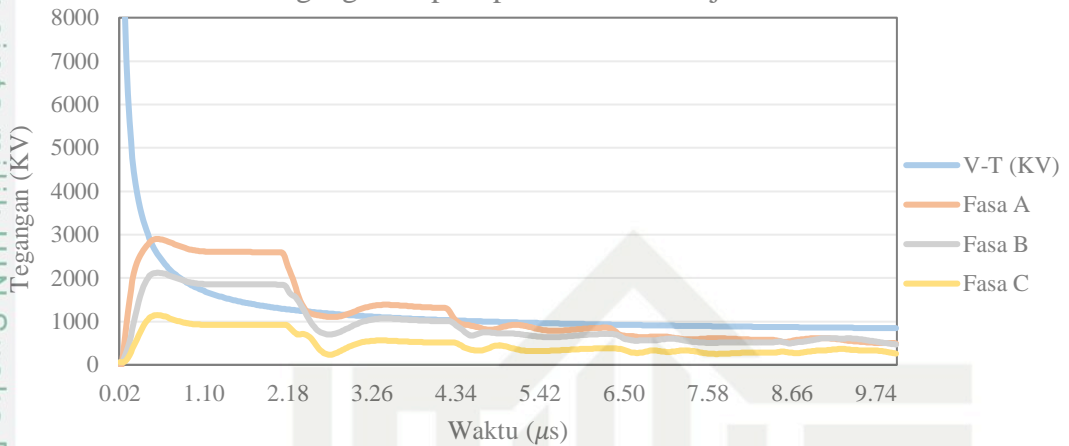
Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 30 kA



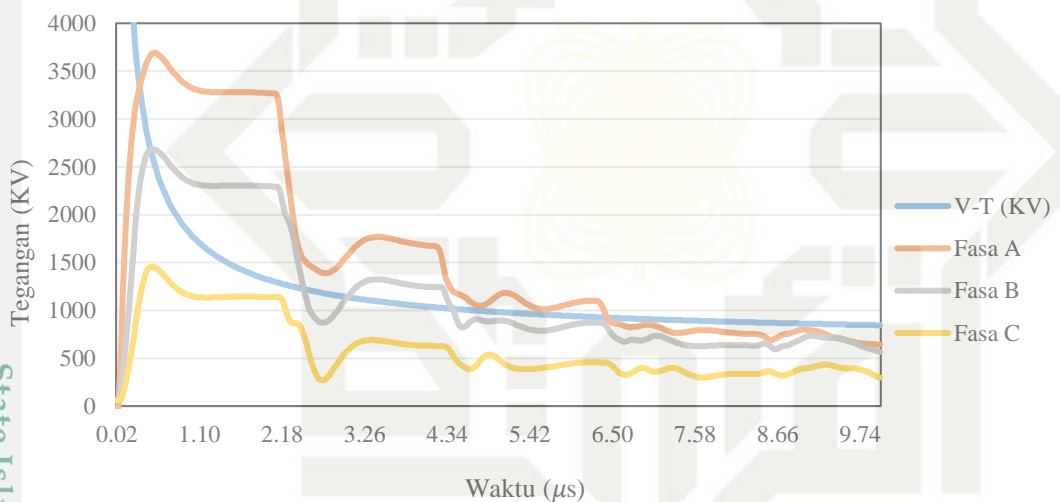
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 40 kA



Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 50 kA



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

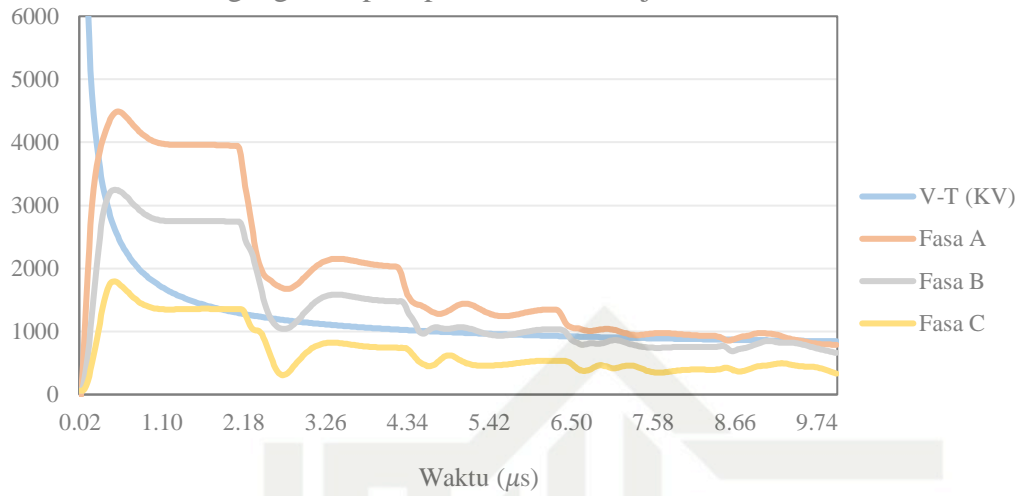
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

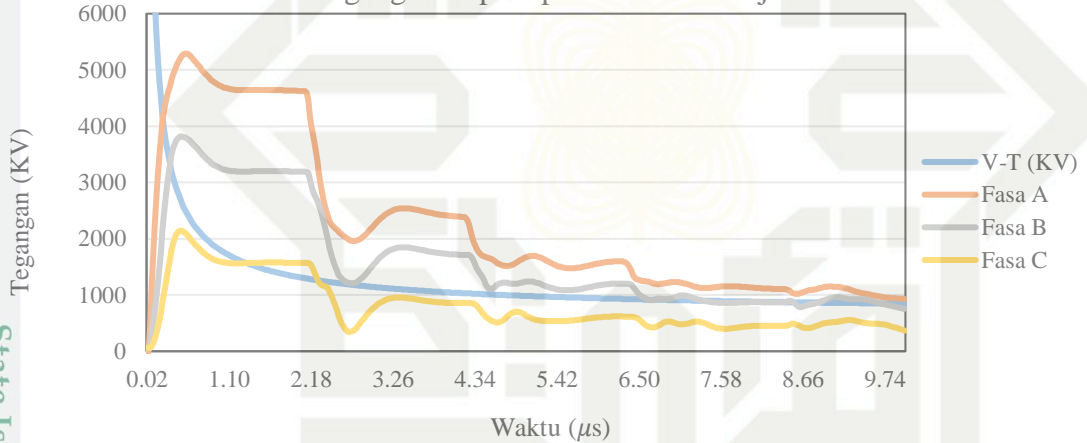
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

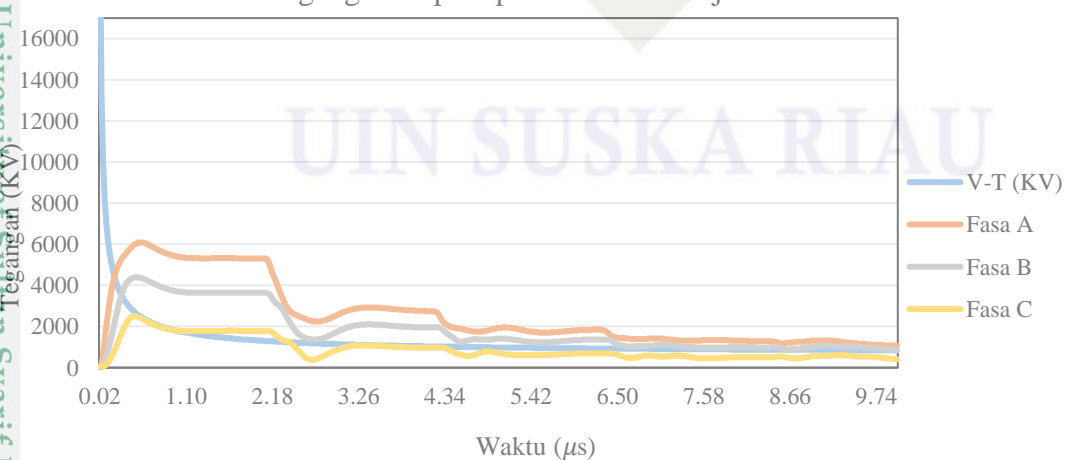
Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 60 kA



Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 70 kA



Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 80 kA

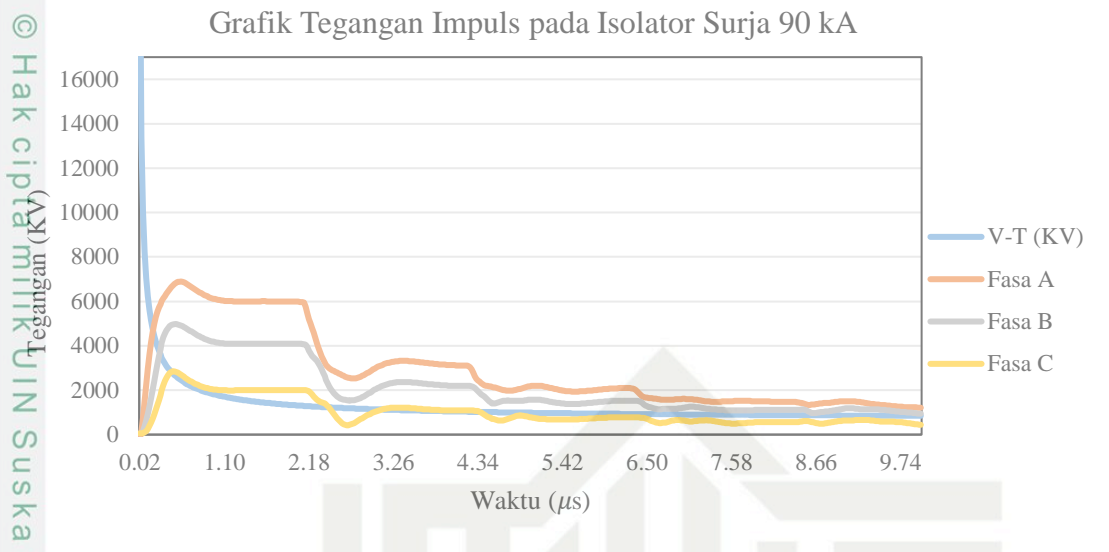




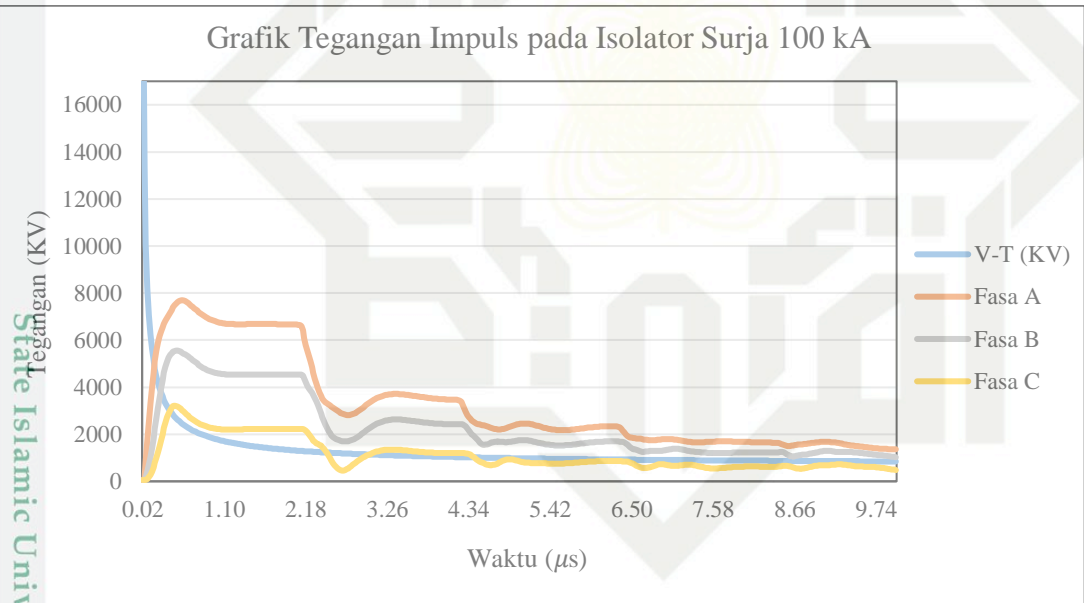
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 90 kA



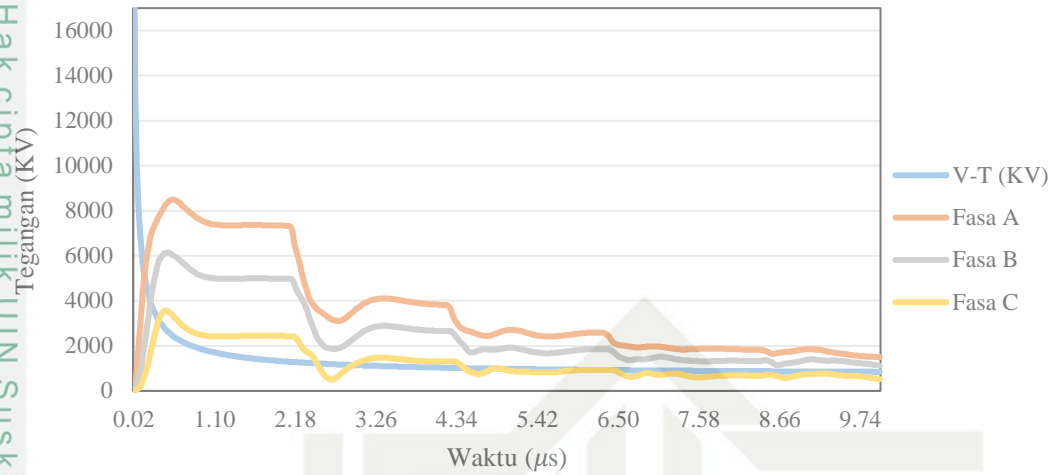
Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 100 kA



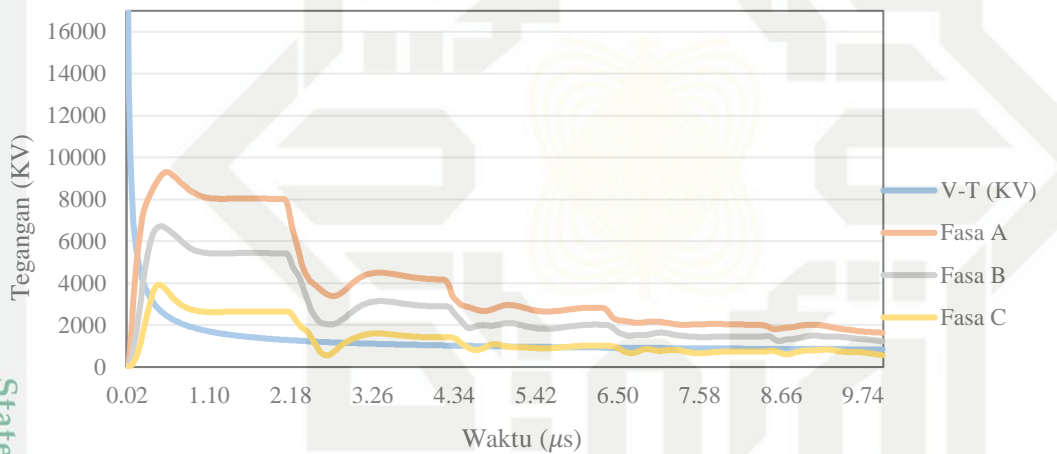
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 110 kA



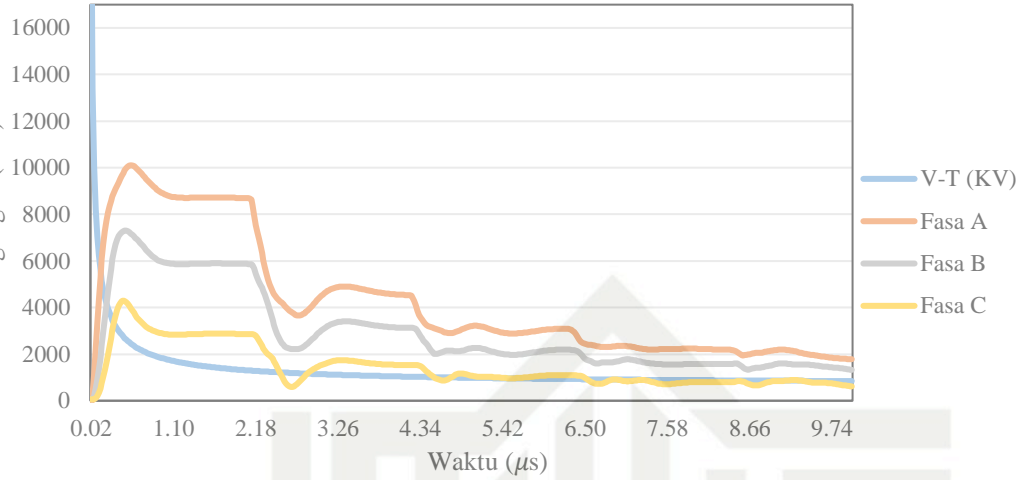
Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 120 kA



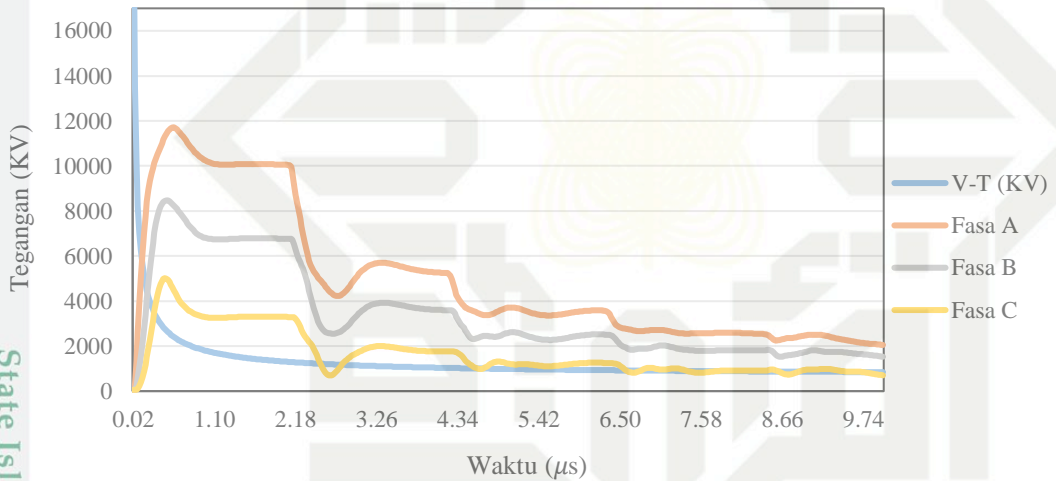
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 130 kA



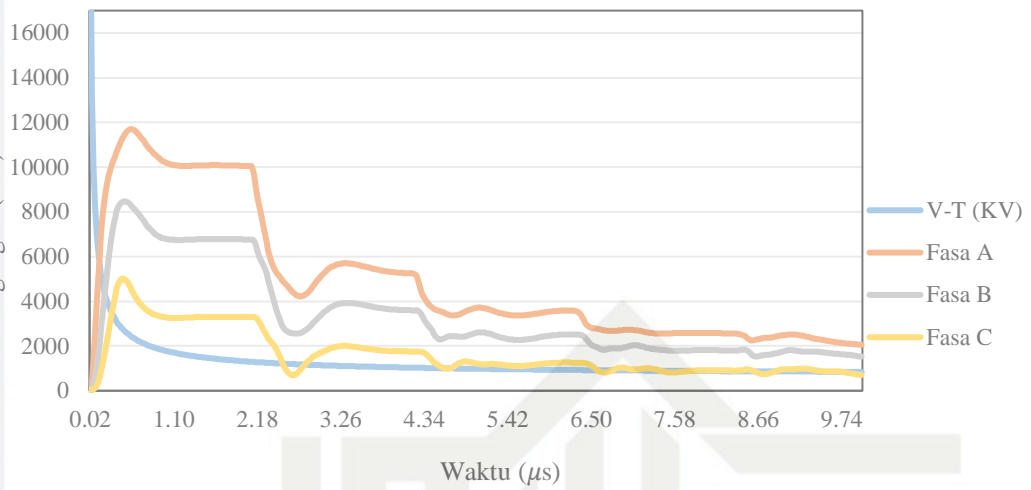
Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 140 kA



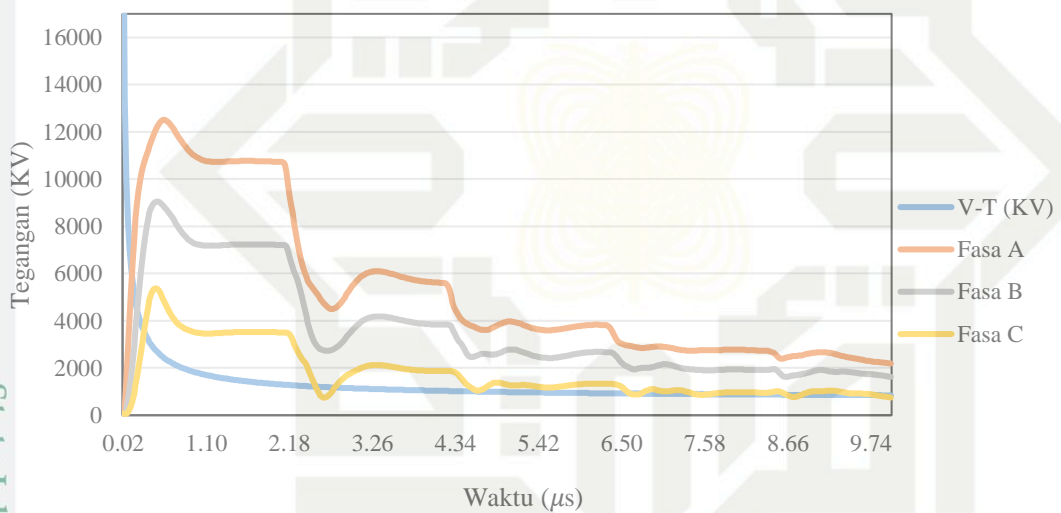
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 150 kA



Grafik Tegangan Impuls pada Isolator Surja 160 kA





Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nanda Irwanto, lahir di Sekara, 19 maret 1996. Menempuh Pendidikan dasar di SDN 005 Sekara Kec. Kemuning Inhil lulus pada tahun 2008. Melanjutkan ke SMP SATU ATAP Desa Sekara Kec. Kemuning Inhil lulus tahun 2011, dan melanjutkan ke SMK T YPL LIRIK INHU sampai selesai tahun 2014. Kemudian kuliah di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan lulus pada tahun 2021.

